

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra textilní chemie
Studijní program: Textilní inženýrství
Obor: 3106T 002 Chemická technologie textilní

**VZTAH MEZI VISKOZITOU, POVRCHOVÝM
NAPĚTÍM A VZLÍNÁNÍM KAPALINY DO
STRUKTURY TEXTILIE**

**The relation between viscosity, surface tension and capillary
action of liquid to the structure of a textile fabric**

Lucie Štěpánová, Bc.

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jaroslav Odvárka, DrSc.

Konzultant: Doc. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Počet stran: 108

Počet tabulek: 3

Počet obrázků: 87

V Liberci dne: 2. ledna 2007

ANOTACE:

V diplomové práci je řešena problematika vztahů viskozity, povrchového napětí a vztlínání viskózní kapaliny do struktury textilie. Sledována je koncentrační řada alginátové disperze o stoupající viskozitě a různém povrchovém napětí. Snížení povrchového napětí bylo zajištěno přidavkem povrchově aktivních látek o různém iontovém charakteru. Hlavním úkolem je sledovat transport viskózní kapaliny do struktury textilie a na základě vyhodnocení experimentů definovat oblast viskozity, kde je potlačen vliv sníženého povrchového napětí a vztlínání kapaliny do struktury textilie bude tím pádem omezeno.

ANNOTATION:

In diploma work there are solved problems concerning with relation between viscosity, surface tension and capillary action of viscous liquid to the structure of a textile fabric. An alginate dispersion of increasing viscosity and different surface tension is observed. A reduction of the surface tension was reserved by addition of surface active substances with various ionic character. The main aim of this work is to observe a transport of the viscous liquid to the structure of the textile fabric and by virtue of an interpretation of experiments determin area of viscosity, where the influence of decrease surface tension will by repressed and thereby the capillary action of the liquid to the structure of fabric will be limited.

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 2. ledna 2007

.....

Podpis

P o d ě k o v á n í

Ráda bych poděkovala Doc. Ing. J. Odvárkovi, DrSc. za odborné vedení diplomové práce, Doc. Ing. J. Wienerovi, Ph.D. za rady a navržený postup hodnocení transportu kapaliny do struktury textilie. Dále bych chtěla poděkovat všem, jež mi umožnili tuto práci vytvořit, zejména rodičům za podporu při studiu.

Obsah:

1 Úvod a cíl	8
2 Rešeršní část	10
2.1 Reologické vlastnosti a viskozita	10
2.1.1 Newtonské kapaliny.....	12
2.1.2 Neneutonské kapaliny.....	13
2.1.2.1 Binghamské kapaliny.....	15
2.1.2.2 Pseudoplastické kapaliny	16
2.1.2.3 Dilatantní kapaliny.....	16
2.1.2.4 Tixotropní kapaliny.....	17
2.1.2.5 Reopektické kapaliny.....	17
2.1.2.6 Viskoelastické kapaliny	18
2.1.3 Reometrie	19
2.1.3.1 Obecné problémy reometrie neneutonských kapalin	19
2.1.4 Měření reologických vlastností	19
2.1.4.1 Pádové (tělískové) viskozimetry	20
2.1.4.2 Průtokové viskozimetry	21
2.1.4.3 Rotační a vibrační viskozimetry.....	22
2.2 Povrchové jevy.....	25
2.2.1 Povrchové napětí kapalin.....	25
2.2.2 Metody stanovení povrchového napětí.....	27
2.2.2.1 Statické metody.....	27
2.2.2.1.1 Metoda kapilární elevace.....	27
2.2.2.1.2 Metoda kapilární deprese	28
2.2.2.1.3 Analýza profilu kapek a bublin (ADSA).....	28
2.2.2.1.4 Metoda rotující kapky	29
2.2.2.1.5 Metoda vyvažovací destičky (Wilhelmyho metoda)	30
2.2.2.2 Semistatické metody	32
2.2.2.2.1 Metoda maximálního přetlaku v bublině.....	33
2.2.2.2.2 Metoda odtrhávání prstence (kruhová metoda).....	33
2.2.2.2.3 Stalagmometrická metoda - vážení kapky nebo měření objemu kapky.....	35
2.2.2.3 Dynamické metody	35
2.2.2.3.1 Oscilující proud kapaliny	36
2.2.2.3.2 Měření rozptylu světla.....	36
2.2.2.3.3 Kapilární vlnění.....	37
2.2.2.3.4 Metoda oscilující kapky	38
2.2.3 Smáčení	42
2.2.3.1 Kontaktní úhel neboli úhel smáčení.....	42
2.2.3.2 Zdánlivý kontaktní úhel	43
2.2.4 Vzlínání kapaliny.....	44
2.2.4.1 Dynamika vzlínání	45
2.2.4.2 Vzlínání do tkaniny	45
2.3 Záhustky	46
2.3.1 Druhy zahušťovadel	46
2.3.1.1 Přírodní zahušťovadla	46
2.3.1.2 Emulzní zahušťovadla.....	49
2.3.1.3 Syntetická zahušťovadla	49
2.4 Tenzidy	50
2.4.1 Vlastnosti tenzidů	50
2.4.2 Rozdělení tenzidů.....	51
2.4.3 Tvorba micel a kritická micelární koncentrace.....	52

3	Experimentální část.....	53
3.1	Použité tenzidy	53
3.2	Použité zahušťovadlo	56
3.3	Použitá textilie.....	56
3.4	Použité barvivo	57
3.5	Měření povrchového napětí	57
3.5.1	Wilhelmyho destičková metoda	58
3.6	Měření viskozity.....	59
3.7	Obrazová analýza Lucia	63
3.8	Experiment.....	64
3.8.1	Vyhodnocení vzorků pomocí obrazové analýzy Lucia a počtu obarvených vrstev textilie	67
4	Výsledky.....	70
4.1	Povrchová napětí samotného roztoku zahušťovadla a po přidavku tenzidu	70
4.2	Viskozity samotného roztoku zahušťovadla a po přidavku tenzidu	71
4.3	Vztah viskozity a povrchového napětí	73
4.4	Vyhodnocení dosaženého průniku (provzlínání) obarveného roztoku alginátu do struktury textilie	75
4.5	Přepočitatelnost celkového množství barviva v návinu textilie a počtu obarvených vrstev textilie	81
4.6	3D grafy znázorňující, kdy viskozita potlačuje vliv povrchového napětí na vzlínání roztoku zahušťovadla do struktury textilie	83
4.7	Tabulky naměřených a vypočítaných hodnot	90
4.8	Obrázky	93
4.8.1	Vzlínání obarveného roztoku alginátu s přidavkem Abesonu INA	94
4.8.2	Vzlínání obarveného roztoku alginátu s přidavkem Alfonalu KD	96
4.8.3	Vzlínání obarveného roztoku alginátu s přidavkem Flavolu LDA	98
5	Diskuze výsledků.....	100
5.1	Povrchové napětí a viskozita	100
5.2	Vyhodnocení průniku (provzlínání) obarveného roztoku alginátu do struktury textilie	100
5.3	Závěrečné vyhodnocení 3D grafů.....	101
6	Závěr.....	104
7	Seznam použité literatury:.....	106

1 ÚVOD A CÍL

V textilním průmyslu se s pojmy viskozita, povrchové napětí, smáčení a vzlínání setkáváme velmi často. Povrchové jevy se vyskytují v řadě technologických operací: barvení, potiskování a finální úpravy. Povrchové napětí znesnadňuje průnik textilních prostředků a barviva do mezivláknenných prostorů. A proto je důležité povrchové napětí snižovat působením vhodných textilních přípravků. Povrchové jevy tedy ovlivňují vlastnosti disperzních soustav a tím i charakteristické vlastnosti tiskacích past.

S pojmem viskozita se nejčastěji setkáváme v oblasti potiskování textilií. O tiskařských vlastnostech a zejména o konečném výsledku tisku rozhodují reologické vlastnosti tiskacích past, tedy jejich viskozita. Použití záhustek s různými reologickými parametry přináší s sebou také rozdílné výsledky tisku, jako je ostrost, egalita, protisk a výsledná intenzita tisku. Nelze použít prosté vodné roztoky barviv, protože by došlo k značnému rozpíjení tisknutých obrazců. Barvivo je nutné aplikovat z prostředí se značně vysokou viskozitou a to z prostředí tiskací pasty. Viskozita tiskacích past je proto jednou z nejdůležitějších vlastností a ovlivňuje ostrost a rovnoměrný vzhled tisknutých obrazců.

Charakter tiskacích past je tedy závislý na viskozitě, ale dosud však neexistují studie zabývající se vlivem povrchového napětí na viskozitu, a tudíž i na vlastnosti tiskacích past. Povrchové napětí, jako jev na rozhraní dvou různých prostředí, nebylo prozkoumáno při aplikaci tiskací pasty na textilií. I když je známo, že povrchové napětí kapalin ve styku s textilií významně ovlivňuje intenzitu vzlínání kapaliny (lázně tiskací pasty) do textilie.

Procesy smáčení a vzlínání jsou důležité z technologického hlediska, protože ovlivňují řadu zušlechťovacích a pracích procesů, přípravu kompozitů a procesy tvorby některých textilních struktur (pojených netkaných textilií)[1]. Vzlinání a smáčení nelze považovat za dva odlišné procesy. Smáčení je předpokladem pro samovolné vzlínání. Kapalina, která nesmáčí vlákna, nemůže vzlínat do textilie. Povrchově aktivní látky výrazně ovlivňují vzlínání a jeho kinetiku [2].

Důležitost smáčení je v oblasti praní, adheze, detergentů, lubrikací a jiných operací, při kterých jsou kapaliny přímo aplikovány na povrch pevných látek. Smáčení vlákenných materiálů může silně ovlivňovat řadu výrobních postupů a stejně tak užité vlastnosti textilního materiálu.

Úkolem této práce je určit viskozitu, povrchové napětí a sledovat transport alginátové koloidní disperze do struktury textilie. Alginátová disperze je sledována v pěti koncentračních řadách tak, že postupně stoupá hodnota viskozity. Přídavkem povrchově aktivní látky byla zajištěna změna povrchového napětí a tím umožněn snazší průnik disperze do textilie. Cílem diplomové práce je specifikovat takovou oblast viskozity, při níž snížené povrchové napětí povrchově aktivní látkou znesnadňuje či zcela eliminuje průnik alginátové disperze do struktury textilie.

2 REŠERŠNÍ ČÁST

2.1 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI A VISKOZITA

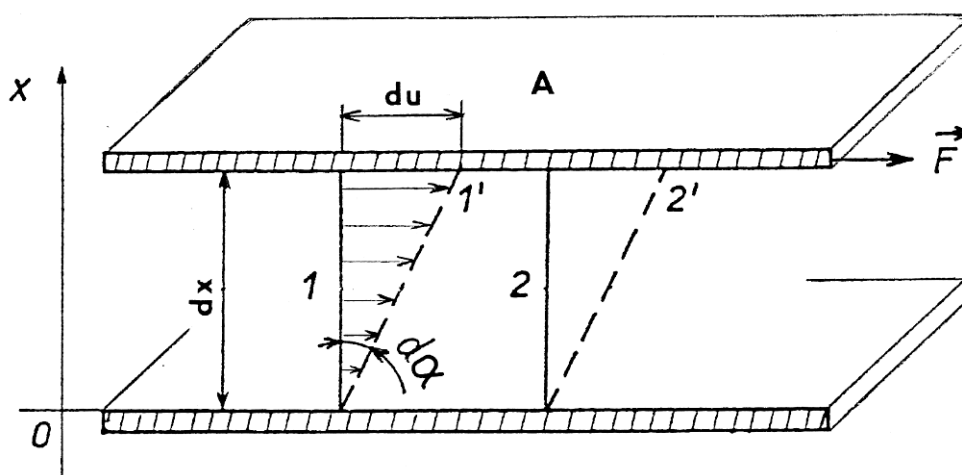
Nejtypičtější obecnou vlastností tiskacích past je jejich reologické chování tedy tokové vlastnosti a viskozita. Tyto vlastnosti závisí na smykovém napětí, koncentraci záhustek, délce a tvaru řetězce, chemické struktury, přítomnosti a koncentraci dalších chemikálií. Reologické chování tekutých materiálů hraje důležitou roli v řadě technologických operací [3].

Označení *reologie* s vymezením působnosti *na studium deformace a toku materiálů* bylo zavedeno americkým fyzikem E.C.Binghamem [4].

Reologické vlastnosti tiskacích past rozhodují o tiskařských vlastnostech past, o tom, jak se budou přenášet na textilie, zda se nebudou v textilií rozpíjet. Viskozita tiskacích past ovlivňuje rovnoměrný vzhled tisknutých obrazců, ostrost jejich okrajů a sílu protisku textilie [5].

Viskozita je označována jako odpor k toku, který se projevuje při pohybu kapalin. V důsledku existence kohezních sil mezi částicemi kladou kapaliny podstatně větší odpor při pohybu než plyny. Mírou tohoto odporu je koeficient viskozity dané kapaliny [6].

Matematickým vyjádřením tokových vlastností kapalin jsou reologické stavové rovnice, které zpravidla vyjadřují vztah mezi deformačním smykovým (tečným, vazným) napětím τ a deformací kapaliny. Jejich grafickou podobou jsou tokové křivky [3].



Obr. 1: Rychlostní profil toku v kapalině mezi nepohyblivou a pohybující se deskou [3]

Podle Newtona je definována tangenciální smyková síla F [N] potřebná k překonání vnitřního tření. Tato síla mezi rovnoběžnými vrstvami kapaliny o stykové ploše A [m²], které jsou od sebe vzdáleny o dx [m] a udržují rozdíl rychlostí du [m.s⁻¹] [7].

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Kde τsmykové napětí [Pa]

V případě ideálně viskozního materiálu platí pro tečné napětí klasický Newtonův zákon [3]:

$$\tau = \eta \cdot \frac{du}{dx} = \eta \cdot D \quad (2)$$

Kde ηje **dynamická viskozita** [Pa.s] charakterizující vnitřní tření newtonské kapaliny

du/dxgradient rychlosti **D** [s⁻¹] (rychlost deformace, rychlost smyku), který charakterizuje tvarové změny v proudící tekutině (obr. 1)

Z rovnic (1), (2), plyne konečný vztah pro stanovení viskozity. Viskozita je definována smykovým napětím τ a gradientem rychlosti D .

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad (3)$$

Viskozita kapalin se s teplotou značně mění. Molekuly kapalin při nižších teplotách jeví tendenci ke shlukování, která se uplatňuje i mezi pohybujícími se vrstvami kapaliny a zvyšuje se tak vnitřní tření. Zvyšováním teploty této tendence ubývá, a proto viskozita kapalin klesá [7]. U plynů viskozita s teplotou roste [3].

Tuto závislost vyjádřil Arrhenius empirickým vztahem:

$$\eta = A \exp (E/RT) \quad (4)$$

Kde A a E jsou pro danou kapalinu konstanty [6]

Podle toho, zda se kapaliny chovají podle Newtonova zákona či nikoli, je rozdělujeme na:

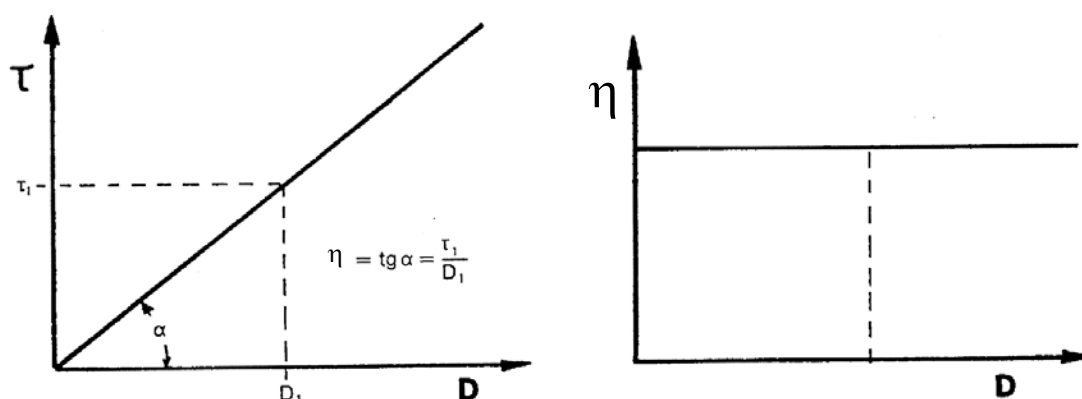
- Newtonské
- Neneutonské

2.1.1 NEWTONSKÉ KAPALINY

Newtonská kapalina je taková kapalina, jejíž dynamická viskozita η je nezávislá na rychlosti smyku vrstev. Závislost smykového napětí τ na gradientu rychlosti D je přímková – lineární. Tato přímka prochází počátkem systému souřadnic a její strmost vyjadřuje koeficient viskozity.

Viskozita je základní, neměnná materiálová konstanta, charakterizující kapalinu jedinou číselnou hodnotou. Tato hodnota je teplotně závislá [8].

Tekutiny řadící se mezi Newtonské jsou zpravidla nízkomolekulární látky. Toková křivka Newtonské kapaliny je znázorněna na obr. 2. Platí $\eta = \tan \alpha$ [3].



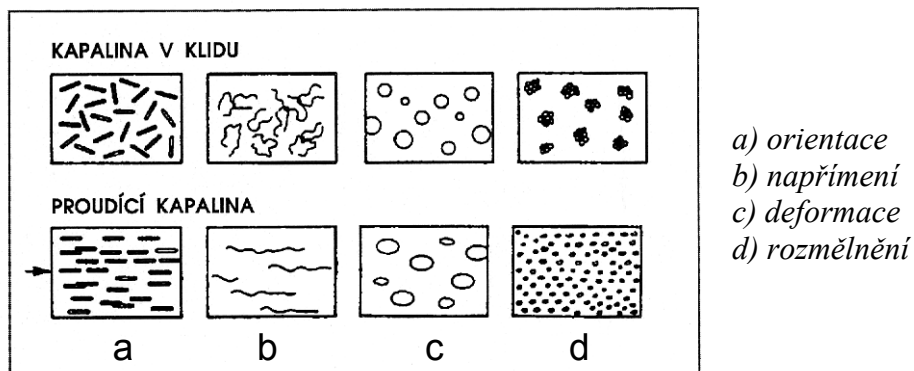
Obr. 2. Toková a viskozitní křivka newtonské kapaliny [3]

2.1.2 NENEWTONSKÉ KAPALINY

Charakter toku těchto kapalin se označuje jako anomální a stejně se označují i kapaliny tohoto druhu. Viskozita anomálních kapalin se zvětšujícím se smykovým napětím klesá nebo naopak stoupá. Tyto jevy jsou způsobeny rozdílnou strukturou kapalin [9].

Mezi tyto kapaliny řadíme např. roztoky a taveniny polymerů, suspenze různé pasty apod.[3].

Viskozita η takových kapalin se nazývá zdánlivou. Při popisování jejich tokových vlastností nestačí jeden údaj jako je tomu u kapalin newtonských. Viskozitu je nutno vyjádřit jako spojitou funkci smykové rychlosti nebo smykového napětí a charakterizuje se tokovou křivkou vyjadřující závislost D na τ .

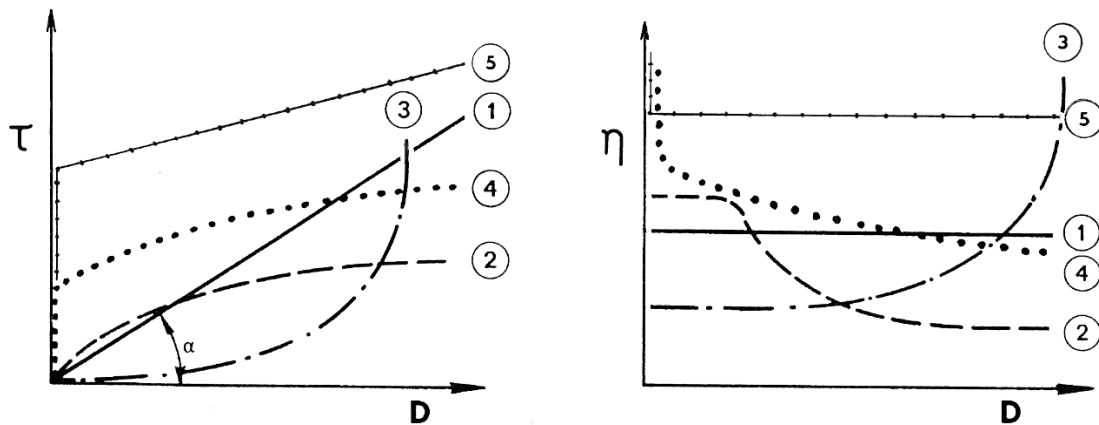


Obr. 3. Vliv toku na uspořádání částic v nenewtonské kapalině [3]

Základní typy nenewtonských kapalin jsou:

- **zobecněné newtonské kapaliny** - napětí je jen funkcí deformace, avšak komplikovanější
 - *Binghamské kapaliny* - tečou až od určitého napětí (suspenze křídly či vápna, odpadní kaly)
 - *Pseudoplastické kapaliny* - viskozita roste s rychlostí deformace (roztoky či taveniny polymerů)
 - *Dilatantní kapaliny* - viskozita klesá s rychlostí deformace (škrobové suspenze)
- **viskoelastické kapaliny** - tečou, ale zároveň si do určité míry „pamatují“ tvar a po odstranění napětí se částečně vrátí do původního tvaru
- **s časovou závislostí** - vlastnosti kapaliny jsou závislé na době působení napětí
 - *tixotropní kapaliny* - s dobou působení napětí viskozita klesá (nátěrové hmoty)

- *reopexní kapaliny* - s dobou působení napětí viskozita roste (nátěrové hmoty) [10]



Obr. 4. Tokové a viskozitní charakteristiky některých nenewtonských kapalin

1- newtonská kapalina 2- strukturně viskózní kapalina 3- dilatantní kapalina
4- plastická kapalina (pseudoplastická s mezí toku) 5- binghamská kapalina [3]

2.1.2.1 Binghamské kapaliny

Binghamské kapaliny jsou kapaliny s plastickým tokem a v podstatě představují disperzní systém, ve kterém se disperzní částčky brání toku disperzního prostředí. Jeví se jako látky tuhé, neboť při narůstajícím poměru disperzních částic k disperznímu podílu může dojít k agregaci částic a vytvoření spojitě struktury. Taková látka nemůže téci, dokud smykové napětí není větší než síly, kterými částčky lnou k sobě.

K toku dochází až po překročení určitého prahového smykového napětí, tzv. **meze toku (kluzu)** τ_k (viz obr. 4). Pro tyto plastické kapaliny platí [3]:

$$\tau - \tau_k = \eta \cdot D \quad (5)$$

Závislost smykového napětí na gradientu rychlosti je lineární. Patří sem např. koncentrované průmyslové a odpadní (spláskové) kaly, kašovité suspenze, křídly a vápna, pasty aj. [3].

2.1.2.2 Pseudoplastické kapaliny

U pseudoplastického toku roste smyková rychlost rychleji než smykové napětí. Viskozita kapalin se snižuje s mechanickým namáháním. Tento tok je charakteristický pro většinu tiskacích past, škrobové mazy, deriváty celulózy. Tokové křivky jsou nelineární a začátek tečení se projevuje až po určité době namáhání, tedy za mezí tečení.

Podle průběhu tokové křivky se někdy rozlišují dvě podskupiny: *pravé pseudoplastické kapaliny* a *strukturně viskózní kapaliny*. U strukturně viskózních kapalin lze stanovit dvě limitní hodnoty zdánlivé viskozity. Jsou to např. roztoky a taveniny polymerů, roztoky mýdel a detergentů, některé suspenze apod. [3].

Z technického hlediska je pseudoplasticita zpravidla vítanou vlastností, neboť snižuje energetickou náročnost při míchání, toku kapalin potrubím apod. [3].

2.1.2.3 Dilatantní kapaliny

Tento tok se vyskytuje u suspenzí s vysokým obsahem pevných částic. Pokud je soustava v klidu, pevné částice jsou blízko vedle sebe a kapalina vyplňuje prostor mezi částicemi. Po určitém namáhání (zamíchání) se částice oddálí a kapalina není schopna vyplňovat prostor mezi částicemi. Tím nastává zvýšení odporu k toku. Viskozita tedy roste se zvyšujícím se smykovým napětím. Tento tok je charakteristický pro tekutý písek.

S tímto chováním se nesetkáváme příliš často. Bylo pozorováno v některých vysoce koncentrovaných suspenzích (např. v PVC plastisolech). Jelikož zpravidla komplikuje technologické procesy je žádoucí dilataci pokud možno potlačit změnou složení.

Rovněž u *pseudoplastických a dilatačních kapalin* může existovat varianta s mezním smykovým napětím (obr. 4). Typické plastické chování vykazují např. zubní pasty, čokoláda, rtěnky aj. [3].

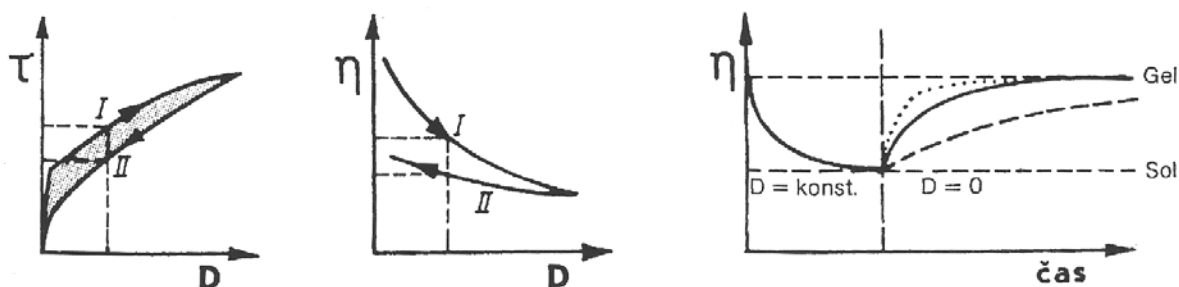
Existují také **kapaliny s časově závislou složkou deformace**, které mění zdánlivou viskozitu s dobou působení napětí. Jejich tokové křivky jsou hysterezní, průběh při zvyšování napětí se liší od průběhu při jeho snižování (obr. 5). Rozlišují se dva základní typy [3]:

2.1.2.4 Tixotropní kapaliny

Tixotropie je vratná časově závislá ztráta viskozity způsobená zvýšením smykového napětí. Účinkem smykového napětí a s rostoucím časem se struktura tixotropické tekutiny rozrušuje určitou rychlostí. Viskozita klesá, až dojde k rovnováze mezi vnitřními silami, které mají snahu obnovit strukturu a smykové napětí. Viskozita je funkcí smykové rychlosti i času, přičemž s rostoucími proměnnými klesá.

Tento typ chování je velmi výhodný např. pro nátěrové hmoty. Důležitá je znalost tixotropního chování např. pro stanovení spouštěcího příkonu míchadel [3].

Mechanismus tixotropie se vysvětluje tím, že se smykovým napětím porušují slabé chemické vazby, které se snaží udělit gelové struktuře tuhost [11].



Obr. 5: Charakteristické křivky tixotropní kapaliny [3]

2.1.2.5 Reopektické kapaliny

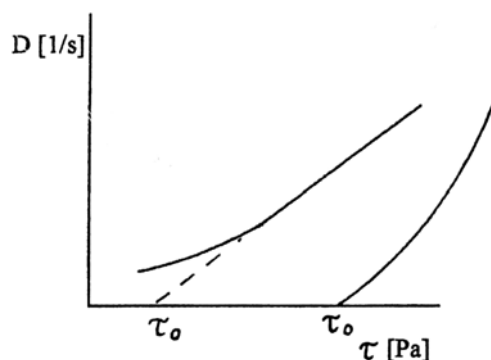
Látky reopektické, jejichž zdánlivá viskozita během smykového namáhání s časem roste. Na rozdíl od tixotropie se s tímto chováním můžeme setkat jen zřídka (např. u suspenzí bentonitu) [3].

Anomálie viskozity mohou být velmi různorodé a v praxi se můžeme setkat i s různými kombinacemi chování viskozního s elastickým (kapaliny viskoelastické nebo elastoviskózní) [3].

2.1.2.6 Viskoelastické kapaliny

U kapalin tohoto typu se kromě smykového napětí uplatňuje i pružnost. Viskoelastické látky vykazující mez toku mají pod touto mezí elastické chování. Působením tečných tlaků τ_0 [Pa] dochází k reverzibilní deformaci, která zmizí po skončení namáhání. Pro tyto reverzibilní deformace platí Hookův zákon pro namáhání v tahu a ve střihu [11].

U kapalin s viskoelastickým tokem je elasticita doprovázena viskózním tokem a obě formy se prolínají.



Obr. 6: Tokové křivky viskoelastických látek

2.1.3 REOMETRIE

Úkolem reometrie je experimentální stanovení funkční závislosti mezi tečným napětím a gradientem rychlosti pro daný vzorek kapaliny, tzn. závislosti zdánlivé viskozity na tečném napětím nebo gradientu rychlosti [3].

2.1.3.1 *Obecné problémy reometrie nenewtonských kapalin*

Je nutno počítat s rušivým vlivem tixotropie nebo reopexie, neboť v takovém případě závisí výsledná toková křivka na době měření.

Jako další rušivý jev se může vyskytnout navíjení vzorku na rotující části viskozimetru, což se projevuje zvláště u nenewtonských kapalin s elastickou složkou deformace.

Další problém je ohřev vzorku u rotačních viskozimetrů, u kapilárních viskozimetrů nejsou s udržováním konstantní teploty problémy.

Pro měření reologických vlastností velmi hustých látek (až těst) bylo vyvinuto velké množství přístrojů označených jako konzistometry nebo penetrometry (i pro velmi viskózní látky zdánlivě pevného charakteru, např. mýdlo). Jejich cílem však bylo většinou pouze naměřit nějakou srovnávací hodnotu (tvárliвість, zpracovatelnost, tuhost). Jen některé z nich se hodí k měření fyzikálních reologických parametrů, např. dynamické viskozity řádově 10^9 Pa.s i více [3].

2.1.4 MĚŘENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ

K měření viskozity se běžně používají průtokové, pádové a rotační viskozimetry, z nichž však pouze poslední typ a speciální kapilární viskozimetry umožňují dostatečně charakterizovat tokovou křivku nenewtonských kapalin. Podmínkou správného měření je vždy laminární proudění v celém rozsahu měření a dobře definovaná geometrie toku (možnost určování D a τ) v případě nenewtonských kapalin [3].

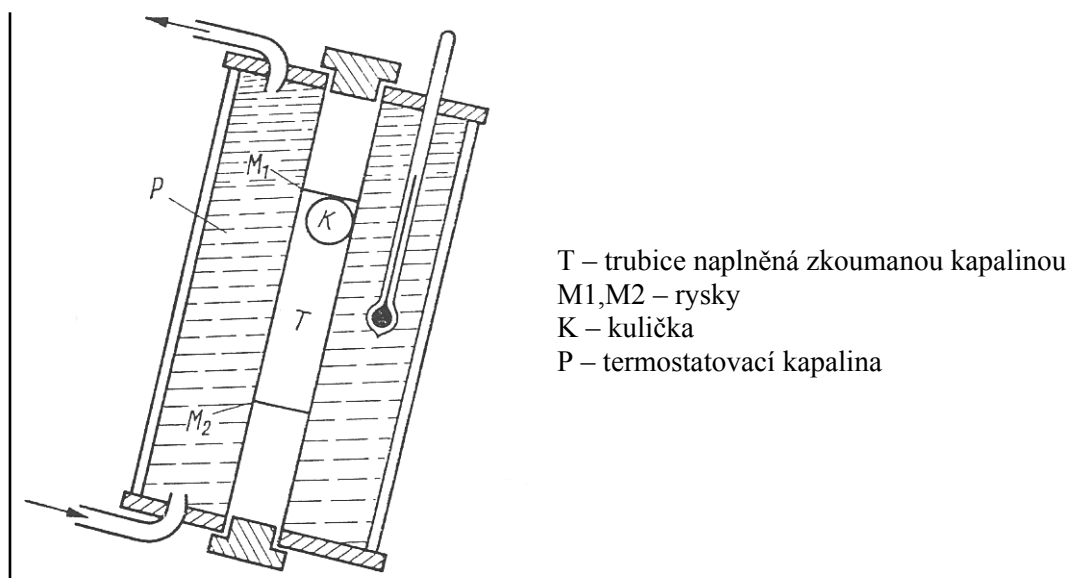
2.1.4.1 Pádové (tělískové) viskozimetry

Měření těmito přístroji je založeno na měření rychlosti pádu známého tělíska (obvykle koule) v kapalině, jejíž viskozitu určujeme [3].

Nejjednodušším tělískovým viskozimetrem je viskozimetr Stokesův. Jiným přístrojem této skupiny je technický viskozimetr Höpplerův, v němž padá kulička skleněnou trubicí skloněnou od vertikály o 10° a o průměru málo větším než je průměr koule (obr.7). V obou případech je měření viskozity převedeno na měření doby pádu kuličky. Výměna kuliček umožňuje kvalitativní zjištění závisí-li viskozita na gradientu rychlosti či nikoliv, tj. zda se zkoumaná kapalina chová newtonsky nebo nikoliv [3].

Používají se kuličky o různém průměru, což umožňuje měřit viskozitu různých kapalin.

Tělískové viskozimetry jsou užívány speciálně ve výzkumných aplikacích týkající se vysoce viskózních kapalin [12].



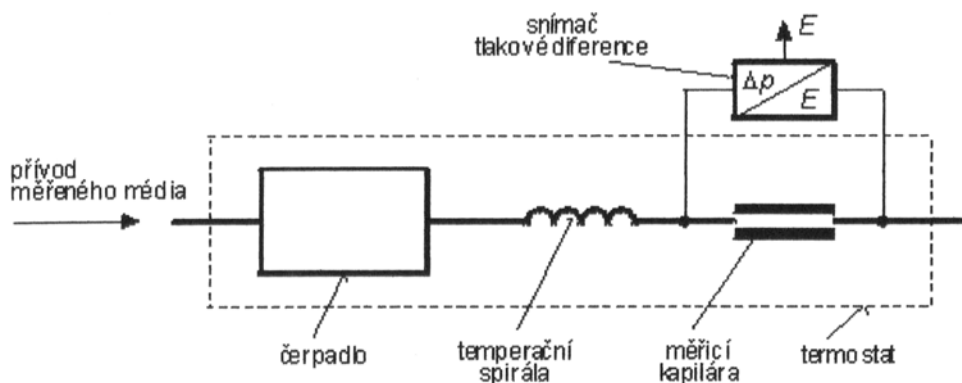
Obr. 7: Schéma Höpplerova kuličkového viskozimetru [3]

2.1.4.2 Průtokové viskozimetry

Průtokové viskozimetry jsou založeny na měření:

- ❑ objemu, který proteče za určitý čas standardní kapilárou při známém přetlaku
- ❑ doby průtoku kapaliny kapilárou
- ❑ tlakové ztráty kapaliny proudící v kapiláře

Měření předpokládá laminární proudění kapaliny a je založeno na Poiseuilleově zákonu [13].



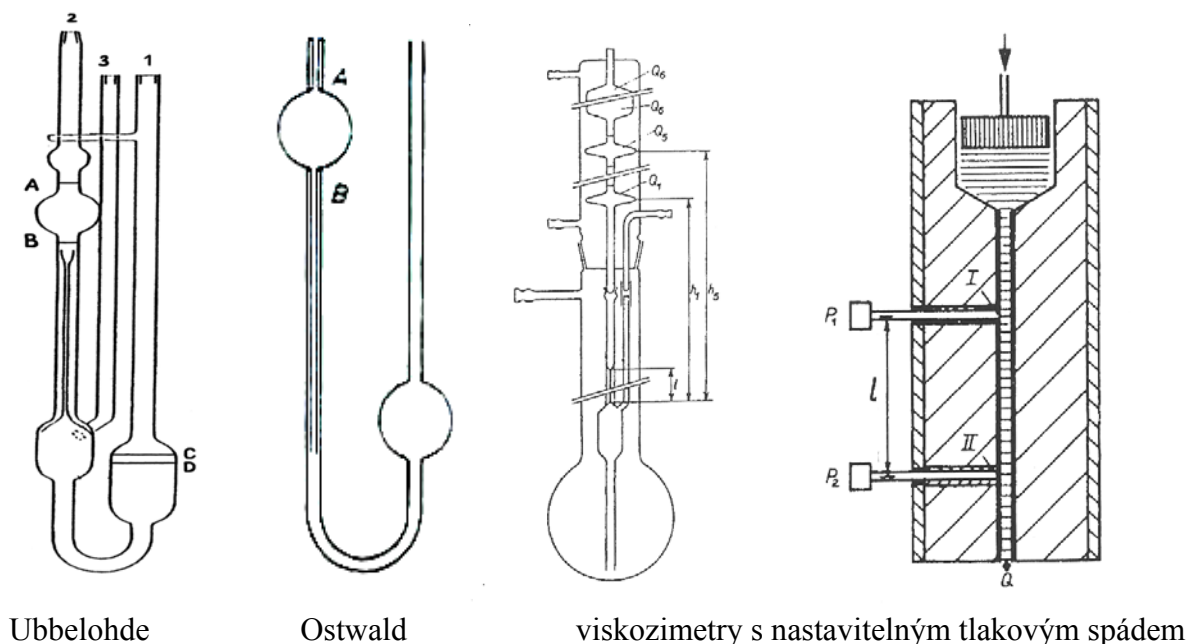
Obr. 8: Schéma kapilárního viskozimetru pracující na základě rozdílu tlaků

K správnému zjištění viskozity je potřeba konstantní průtok, který zajišťuje čerpadlo, a konstantní teplota udržovaná termostatem. Snímač tlakové difference poskytuje na výstupu elektrický signál [14].

Mezi viskozimetry založené na měření doby průtoku kapaliny kapilárou patří Ubbelohdeho (s visící hladinou). Nejčastěji se používá ke stanovení střední molekulové hmotnosti nebo průměrného polymeračního stupně. Dále Ostwaldův viskozimetr. Oba viskozimetry umožňují měřit viskozitu velmi zředěných roztoků.

Mezi další nejznámější typy viskozimetrů patří viskozimetr Englerův a Kohlův [3].

Pro měření tokových křivek nenewtonských kapalin je nutno používat průtokové kapilární viskozimetry s nastavitelným tlakovým spádem (obr. 9). Přímé měřitelné veličiny jsou pak objemový průtok V a tlakový spád Δp na měrné kapiláře s poloměrem R a délkou l . Z těchto hodnot lze vypočítat konzistenční proměnné τ_s , D_s a zdánlivou viskozitu [3].



Obr. 9: Schéma průtokových (kapilárních) viskozimetrů

2.1.4.3 Rotační a vibrační viskozimetry

Při stanovení viskozity se využívá měření odporu, který klade měřené prostředí otáčivému nebo kmitavému pohybu vhodných těles. Měřicí rozsah se pohybuje od 10^{-4} do 10^{11} Pa.s. Přístroje k měření viskozity se skládají ze dvou soustředných válců, mezi nimiž je úzká mezera (definovaného rozměru) naplněná měřenou kapalinou.

Existují dva typy těchto viskozimetrů:

1. Definovaná smyková síla je vložena na vnitřní (nebo vnější) válec užitím definovaného točivého momentu. Druhý válec je v klidu. Odpor látky k toku

(viskozita) se stanoví na základě změřeného smykového napětí nebo charakteristické rychlosti.

2. Působením smykového napětí, vnitřní (nebo vnější) válec rotuje definovanou rychlostí, se definuje smyková síla. Viskozita látky působící na stěny vnitřního válce je charakterizována naměřenou smykovou silou. Většina viskozimetrů pracuje na tomto principu, který lze ještě dále rozdělit:

- Searle systém
- Couette systém

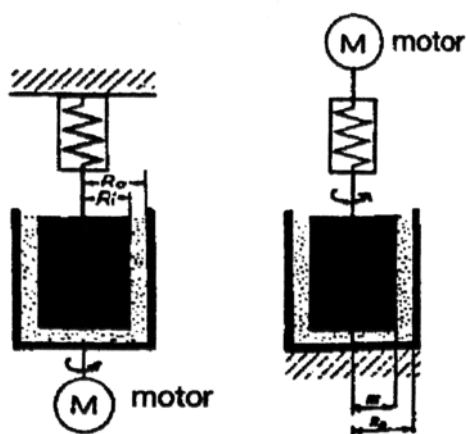
Searle systém

Vnitřní válec se otáčí konstantní nebo různou rychlostí. Vnější válec je v klidu. Látka se dostává do pohybu díky rotujícímu válci a zároveň vykazuje jistý odpor k toku. Viskozita je závislá na otáčivém momentu nebo na efektivním smykovém napětí. Měřicí element pro otáčivý moment je zdeformován ocelovou pružinou umístěnou mezi hnacím motorem a nosnou hřídelí vnitřního válce. Deformací pružiny se přímo měří viskozita testované látky.

Tato metoda je více používána ve výrobě.

Couette systém

Vnější válec se otáčí, což způsobuje tok kapaliny. Vnitřním třením kapaliny se přenáší smykové napětí i na vnitřní válec. Otáčivý moment na vnitřním válci je měřen potenciometricky a určuje sílu zabraňující rotaci. Otáčivý moment přenesený kapalinou je úměrný úhlové rychlosti vnějšího válce a viskozitě kapalin [13].



Obr. 10: Couette systém

Searle systém

Určité problémy vyvolává skutečnost, že v různých bodech měřené kapaliny ve válcové mezeře je různá rychlost smykové deformace (běžně 20% mezi oběma povrchy). Dále je nutno počítat s ohřevem vzorku během měření, který se zvyšuje s viskozitou a rychlostí otáčení.

Místo dvou souosých válců se zvláště pro viskóznější kapaliny často užívá uspořádání kužel – deska. V tomto případě je celý vzorek podroben konstantní rychlosti smykové deformace a jsou potlačeny koncové a krajové efekty. Nevýhodou je omezená použitelnost tohoto systému pro suspenze a disperze (větší částice narušují tokové poměry v klínové mezeře) [3].

Vibrační viskozimetry jsou založeny na podobném principu jako rotační. Měří se např. amplituda vibrující tyčinky ponořené do kapaliny.

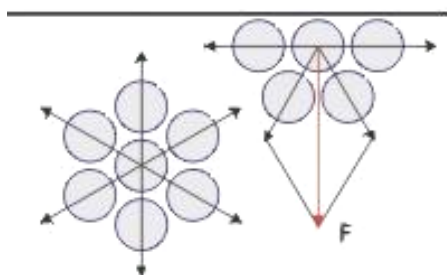
2.2 POVRCHOVÉ JEVY

Celá řada povrchových jevů se odehrává na fázovém rozhraní dvou odlišných prostředí. V technické praxi mají povrchové jevy rozhodující úlohu v určitých technologických procesech, jako jsou: adsorpce, vytváření disperzí, suspenze, emulze, pěny, smáčení, filtrace, praní, solubilizace a mnohé další [15].

2.2.1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ KAPALIN

Charakteristickým znakem kapalin je jejich povrchové napětí, které souvisí se soudržností molekul. Kapaliny se chovají jakoby jejich povrch byl pokryt tenkou pružnou vrstvou, která se snaží stáhnout povrch kapaliny tak, aby měl co nejmenší plochu [16].

Kapaliny se skládají z částic, mezi kterými působí přitažlivé síly. Pokud je částice uvnitř kapaliny, je silové působení okolních molekul navzájem vyrovnáno. V případě částic, které jsou v blízkosti povrchu kapaliny, tomu tak není. Výslednice přitažlivých sil blízkých molekul má směr dovnitř kapaliny a je kolmá k volnému povrchu kapaliny [17]. Tyto molekuly jsou vtahovány dovnitř kapaliny. Kapalina je tím stlačována po celém povrchu značnými silami, které působí tak, aby počet molekul v povrchu byl co nejmenší a které je třeba překonávat, chceme-li povrch zvětšit.



Obr. 11: Znázornění vzájemného působení molekul v kapalině – molekula uvnitř kapaliny (vlevo), molekula na povrchu kapaliny (vpravo) [18]

Jev je tedy způsoben rozdílným výsledkem vzájemného působení sil mezi molekulami uvnitř kapaliny a mezi molekulami v povrchové vrstvě. Vzniklá

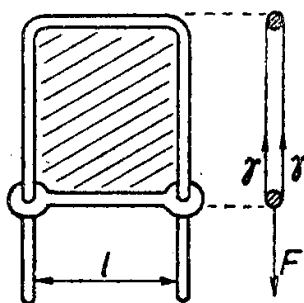
vrstva na povrchu kapaliny se nazývá povrchová vrstva kapalin a chová se jako napjatá pružná blána [19].

Síly, které brání zvětšování povrchu kapaliny, se nazývají povrchové napětí. Povrchové napětí, označované symbolem γ , je definováno silou F [N], která působí kolmo k jednotce délky l [m] povrchu kapaliny. Tato síla je stejně velká ve všech směrech povrchu.

$$\gamma = \frac{F}{l} \quad (6)$$

Povrchové napětí závisí na druhu kapaliny a na prostředí nad povrchovou vrstvou. Obvykle se udává v jednotkách 10^{-3} N.m^{-1} a s rostoucí teplotou klesá. Povrchové napětí lze snížit přidáním povrchově aktivní látky.

Souvislost povrchového napětí s povrchovou energií lze nejlépe znázornit Maxwellovým pokusem. Drátěný rámeček s posuvnou příčkou o délce l je ponořen do kapaliny (mýdlový roztok). Vlivem povrchového napětí se na něm po vytažení vytvoří tenká kapalinová blána s povrchovými vrstvami na obou stranách. Utvořený kapalinový film v ohraničeném rámečku má tendenci pohybovat se ve směru zmenšování povrchu. Aby se příčka nepohybovala, je třeba vynaložit určitou sílu F v opačném směru. Velikost této síly závisí na délce příčky. Platí $F = 2\gamma l$, kde γ je povrchové napětí kapaliny. Kapalinový film má dva povrchy, proto činitel 2 [6].



Obr. 12: Maxwellův experiment

2.2.2 METODY STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ

Povrchové napětí může být poměrně snadno a s velkou přesností stanoveno pro snadno pohyblivá fázová rozhraní, kapalina-plyn a kapalina-kapalina. Existuje velký počet detailně vypracovaných metod pro stanovení povrchového napětí.

Metody pro měření povrchového napětí lze rozdělit:

- Statické
- Semistatické
- Dynamické

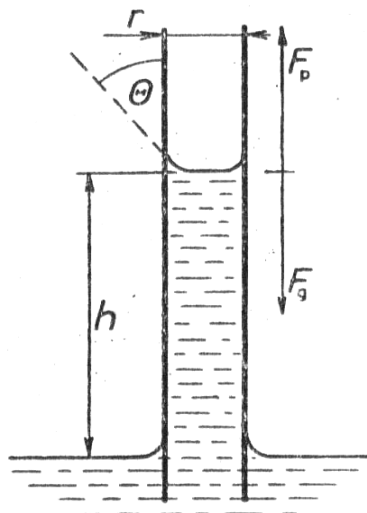
2.2.2.1 *Statické metody*

Tyto metody jsou založeny na sledování ustáleného rovnovážného stavu, ke kterému samovolně směřuje studovaná soustava [20]. Toto umožňuje získat skutečné rovnovážné hodnoty povrchového napětí, což je zvlášť důležité při studiu roztoků.

2.2.2.1.1 Metoda kapilární elevace

Metoda je založena na kapilárním jevu, který vykazují kapaliny, je-li do nich ponořena kapilární trubice kolmo k jejich povrchu. Při kapilární elevaci kapalina lne ke stěnám trubice kapiláry a působením adhezních sil k pevnému povrchu stoupají molekuly kapaliny vzhůru po stěně kapiláry. Vlivem povrchového napětí je kapalina vtahována kapilární trubicí do výšky h , kde vytváří konkávní povrch. Proti povrchovým silám působí síla gravitační, tj. váha sloupečku vyzvednuté kapaliny. Povrchové napětí je definováno úhlem smáčení θ mezi povrchem kapaliny a stěnou trubice.

Používají se tenké kapiláry, které se dobře smáčejí kapalinou ($\theta=0^\circ$), což umožňuje vyloučit obtížné stanovení úhlu smáčení [20].



Obr. 13: Znáznornění jevu kapilární elevace

2.2.2.1.2 Metoda kapilární deprese

Metoda je založena na jevu tzv. kapilární deprese. Kapaliny, které nesmáčejí stěny skla (rtuť) jsou naopak vytlačovány z kapilární trubice. Povrch kapaliny v kapiláře je položen níže než okolní volný povrch a jeví konvexní zakřivení.

2.2.2.1.3 Analýza profilu kapek a bublin (ADSA)

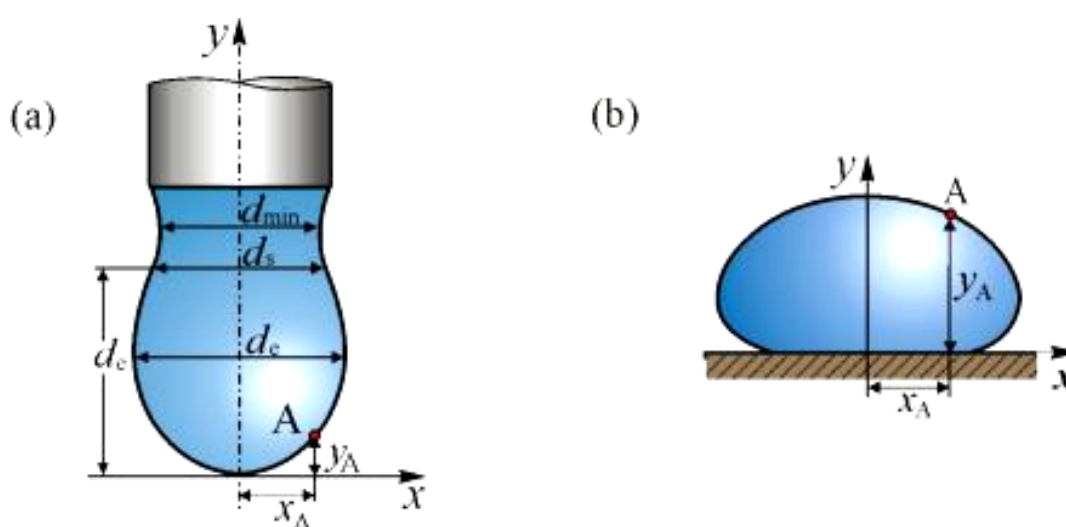
Při měření povrchového napětí se využívá změny tvaru kapek a bublin od tvaru kulového v důsledku gravitačního působení. Povrchové napětí je charakterizováno geometrickými parametry, které vyjadřují stupeň odchylky od kulového tvaru.

Původně se porovnával skutečný profil kapky (*přisedlé* nebo *visící*) s teoretickým tvarem daným Laplaceovou-Youngovou rovnicí. Tento postup je však velice pracný [21].

Výrazné zlepšení představuje použití počítačů. Obraz kapky je přes mikroskop snímán videokamerou, digitalizován a zpracován vhodným počítačovým programem.

Technika analýzy profilu kapky za použití počítače, označovaná jako ADSA [22], [23] (Axisymmetric Drop Shape Analysis), byla úspěšně použita u různých druhů systémů. Může poskytnout jako výstup jak hodnoty úhlu smáčení, tak povrchové, popř. mezifázové napětí i plochu povrchu kapky, poloměr křivosti nebo poloměr obvodu smáčení.

Metoda je absolutní, skutečně statická. K měření jsou zapotřebí pouze malá množství měřených látek a postup lze použít i za experimentálně obtížných podmínek - za zvýšených tlaků a teplot, nebo pro měření reaktivních materiálů.



Obr. 14: Přisedlá (a) a visící (b) kapka. V mikroskopu jsou odečítány charakteristické geometrické parametry (průměry d_e , d_s , d_{min} nebo souřadnice bodů profilu kapky (x_A, y_A) a porovnávány s tabelovanými hodnotami těchto parametrů [21].

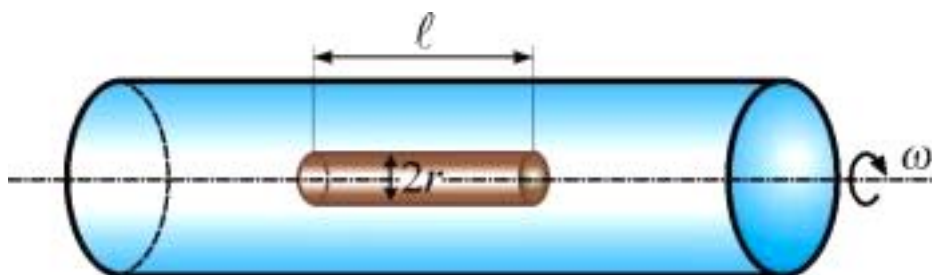
Tato metoda umožňuje stanovení velmi nízkých hodnot napětí. Je vhodná pro studium rovnovážných napětí roztoků charakterizovaných vysokou viskozitou. Postupu bylo také použito ke studiu povahy mezifázových filmů [21].

2.2.2.1.4 Metoda rotující kapky

Mezifázové napětí je odvozováno z tvaru kapky jedné kapaliny (1), který zaujme v druhé kapalině (2) ($\rho_2 > \rho_1$), jestliže se obě nacházejí v uzavřené horizontální trubce, která rotuje vysokou rychlostí ω kolem podélné osy [21]. Kapilára rotuje kolem své osy definovanou rychlostí otáčení [24].

Následkem působení odstředivých sil se méně hustá kapalina snaží rozprostřít kolem osy rotace, přičemž se roztáhne do tenkého sloupce, aniž by se dotýkala stěn. Změřením rozměrů sloupce je možné při známém rozdílu hustot kapalin a rychlosti rotace stanovit povrchové napětí mezifázového povrchu [20].

Touto metodou je možno dobře měřit i velmi nízká napětí (10^{-5} N.m^{-1}) [25], [26].



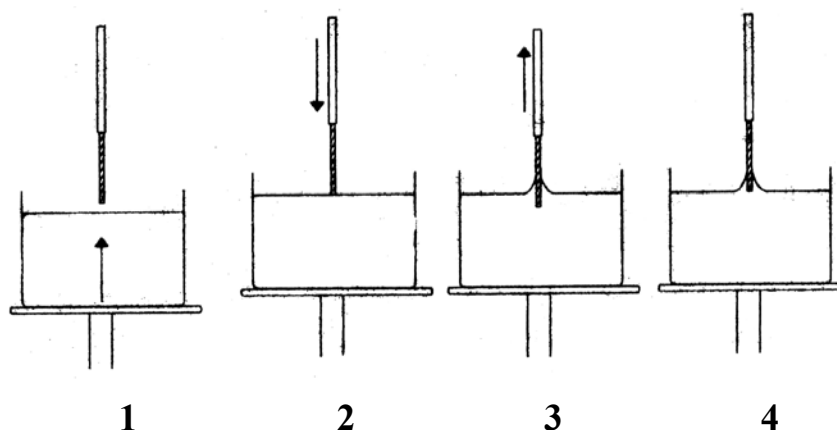
Obr. 15: Rotující kapka [21]

2.2.2.1.5 Metoda vyvažovací destičky (Wilhelmyho metoda)

Tato metoda stanovení povrchového napětí je poněkud zvláštní mezi ostatními statickými metodami, ale výhodou je její přesné stanovení.

Tenká platinová destička definovaných rozměrů se upevní na vahadlo vah a kolmo se ponoří do kapaliny. Kapalina smáčí povrch destičky a Wilhelmyho síla vtáhne okraje destičky do kapaliny. Měří se síla F , která je nutná vynaložit pro vytažení destičky do výchozí polohy. Tato síla je rovna Wilhelmyho síle.

Důležitý je úhel smáčení mezi kapalinou a destičkou, který by měl být roven nule. Měření je tedy vhodné pro dokonalé smáčení. Tuto podmínku však většina kapalin splňuje a řádně vyčištěnou platinovou destičku se zdrsňeným povrchem smáčí dokonale.



Obr. 16: Fáze měření povrchového napětí pomocí Wilhelmyho metody:

- 1) přiblížení destičky k okraji kapaliny
- 2) destička se pohybuje dolů, došlo ke kontaktu destičky s povrchem kapaliny
- 3) destička se pohybuje směrem nahoru, poté co byla vtažena do kapaliny
- 4) vyzvednutí destičky do výchozí polohy

Měření lze možno opakovat, neboť destička může zůstat ve výchozí poloze libovolně dlouhou dobu. Povrchové napětí γ se vypočítá podle následujícího vztahu:

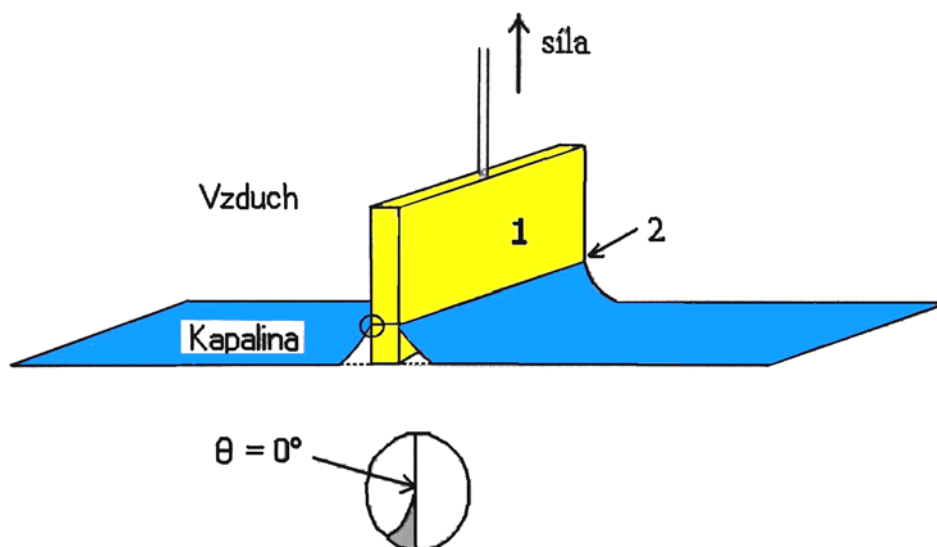
$$\gamma = \frac{P_w}{l_w \cdot \cos \theta} \quad (7)$$

Kde P_wnaměřená Wilhelmyho síla [N]

l_wsmočená délka [m]

θúhel, který svírá tečna smáčecí linie s povrchem destičky

Vztah lze použít pro dokonalé smáčení ($\cos \theta = 1$, $\theta = 0^\circ$).



Obr. 17: Princip měření povrchového napětí Wilhelmyho metodou:

(1) platinová destička

(2) obvod smáčené plochy

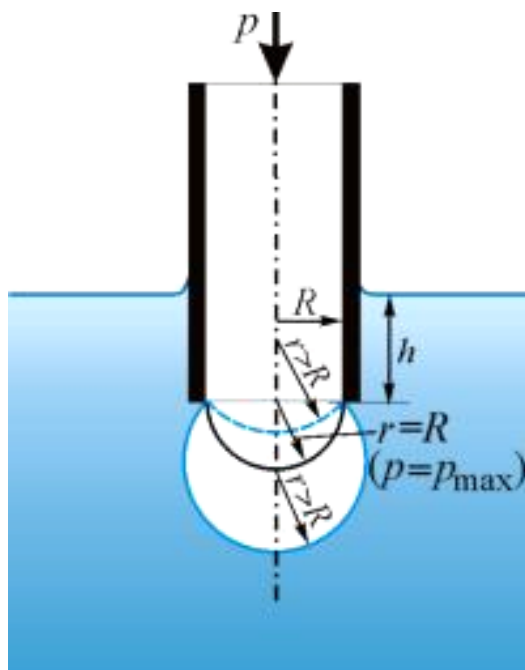
Statická Wilhelmyho metoda je zdánlivě jednoduchá, má však řadu omezení. Vysoká citlivost použitých vah může být využita pouze za předpokladu, že obvod destičky je konstantní po celé její výšce. Povrch destičky musí být homogenní jak po stránce složení, tak po stránce morfologické. Tato podmínka je někdy obtížně splnitelná. Problémy může působit také bobtnání materiálu destičky při déle trvajících měřeních (mění se objem vytlačené kapaliny V) a adsorpce par kapaliny na různé části gravimetrického systému, což se může projevit při měření teplotní závislosti [21].

2.2.2.2 Semistatické metody

Semistatické metody jsou stejně jako statické metody založeny na dosažení určitého rovnovážného stavu dané soustavy, ale v tomto případě je tato rovnováha nestabilní. Povrchové napětí stanovíme určením podmínek, při kterých soustava porušuje svoji rovnováhu.

2.2.2.2.1 Metoda maximálního přetlaku v bublině

Ve studované kapalině se za působení zvyšujícího se přetlaku p vytváří na konci kapiláry, ponořené pod hladinu, bublina plynu. Přetlak v bublině je roven součtu hydrostatického tlaku a tlaku potřebného k překonání povrchového napětí γ , h je hloubka ponoření, ρ hustota kapaliny a r je poloměr bubliny. S růstem bubliny se zmenšuje poloměr jejího zakřivení. V okamžiku, kdy bublina dosáhne polokulovitěho tvaru, je r minimální a je rovno poloměru kapiláry R . Tlak v bublině v tomto okamžiku dosahuje maximální hodnoty. Při dalším, i nepatrném, zvýšení tlaku se objem bubliny zvětší (její poloměr roste), takže člen $2\gamma/r$ se zmenšuje, bublina ztrácí stabilitu a odtrhne se [21].



Obr. 18: Měření povrchového napětí metodou maximálního přetlaku v bublině

r – poloměr menisku, R – poloměr kapiláry

Tato metoda se často používá jako srovnávací [21].

2.2.2.2.2 Metoda odtrhávání prstence (kruhová metoda)

Měření povrchového napětí se provádí pomocí horizontálně zavěšeného platinového kruhu, který se ponoří do kapaliny. Platinový kruh má přesně určenou

geometrii – poloměr kruhu, poloměr platinového drátu, ze kterého je kruh vyroben. Měří se maximální síla F [N] potřebná k odtržení tenkého prstence od hladiny kapaliny.

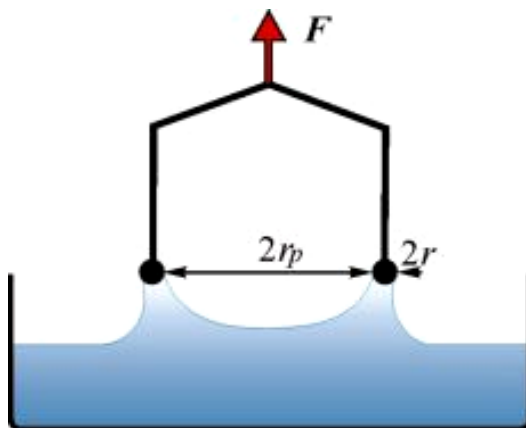
Stejně jako u Wilhelmyho destičkové metody je zapotřebí dbát na úhel smáčení, který by měl být roven nule.

Metoda se také nazývá Du Noüyho metoda a používá se pro stanovení povrchového nebo mezifázového napětí kapalin [24].

Pro povrchové (mezifázové) napětí platí:

$$\gamma = \frac{F}{4\pi \cdot r_p} \cdot \Phi \quad (8)$$

Kde F je síla potřebná k odtržení tenkého prstence od fázového rozhraní, r_p je poloměr prstence a Φ korekce na kapalinu, která ulpí na prstenci při odtržení od hladiny. Tento koeficient, uváděný ve speciálních tabulkách, je závislý na geometrii prstence.



Obr. 19: Odtrhování prstence

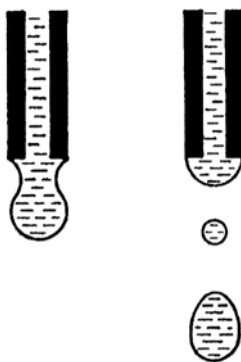
2.2.2.2.3 Stalagmetrická metoda - vážení kapky nebo měření objemu kapky

Stalagmetrická metoda měření povrchového napětí spočívá ve stanovení počtu kapek, které se vytvoří při výtoku určitého objemu kapaliny kapilárou stalagmetru. Vztah pro výpočet povrchového napětí:

$$\gamma_x = \gamma_1 \frac{m_x}{m_1} = \gamma_1 \frac{\rho_x}{\rho_1} \frac{n_1}{n_x} \quad (9)$$

Kde γ_x [mN.m^{-1}] je povrchového napětí neznámé a γ_1 [mN.m^{-1}] známé kapaliny, m_1 [kg] a m_x [kg] jsou příslušné hmotnosti kapek, n_1 jsou příslušné počty kapek známé a n_x zkoumané, ρ_1 a ρ_x jsou příslušné hustoty [kg.m^{-3}].

Jako srovnávací (referenční) kapalina se většinou používá destilovaná voda, jejíž povrchové napětí je $72,75 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ při teplotě 20°C . Hustota destilované vody ρ_1 je s menší nepřesností považována za rovnu jedné [27].



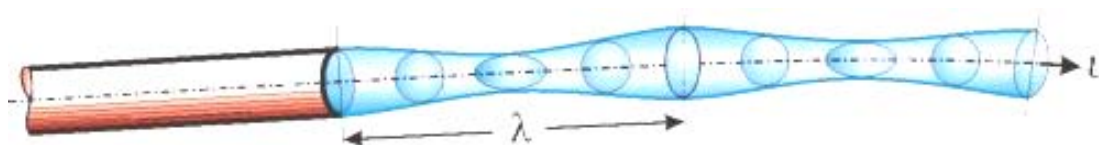
Obr. 20: Odtrhávání kapky od zabroušeného ústí kapiláry

2.2.2.3 Dynamické metody

Tyto metody se využívají u výrazně nerovnovážných stavů povrchových vrstev kapalin.

2.2.2.3.1 Oscilující proud kapaliny

Z trysky s eliptickým otvorem je vypouštěn proud kapaliny ve tvaru eliptického válce do vzduchu nebo druhé kapaliny. Působením povrchových sil, které se snaží dodat paprsku tvar válce s kruhovým průřezem, a působením setrvačných sil vznikají příčné oscilace, při nichž se postupně zaměňují delší a kratší osa elipsy [21].



Obr. 21: Oscilující proud kapaliny [21]

Z délky vlny λ na povrchu proudu kapaliny, která se stanovuje optickými metodami, a objemové rychlosti proudění, lze určit hodnotu povrchového nebo mezifázového napětí:

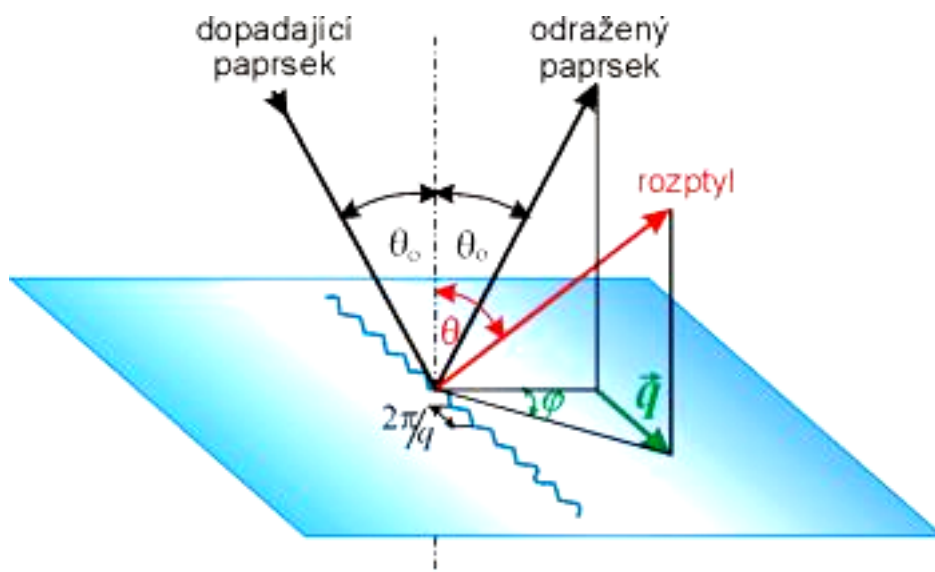
$$\gamma = \frac{4\rho \cdot v^2 \cdot (1 + 37b^2/24r^2)}{6r \cdot \lambda^2 \cdot (1 + 5\pi^2/3\lambda^2)} \quad (10)$$

Kde r je součet minimálního a maximálního poloměru proudu, b jejich rozdíl, λ vlnová délka, v objemová rychlost proudění a ρ hustota kapaliny [21].

Metoda je vhodná pro rutinní laboratorní stanovení dynamických povrchových napětí v případech, kdy není důležitá přesnost absolutní hodnoty napětí, ale je třeba měřit rychlé změny v hodnotách napětí [21].

2.2.2.3.2 Měření rozptylu světla

Metoda měření rozptylu světla umožňuje stanovení velmi nízkých mezifázových napětí (0,1 až 10^{-5} mN.m⁻¹). Hodí se tedy ke studiu systémů s povrchově aktivními látkami, systémů omezeně mísitelných kapalin v blízkosti kritické oblasti i ke studiu mikroemulzí [21].



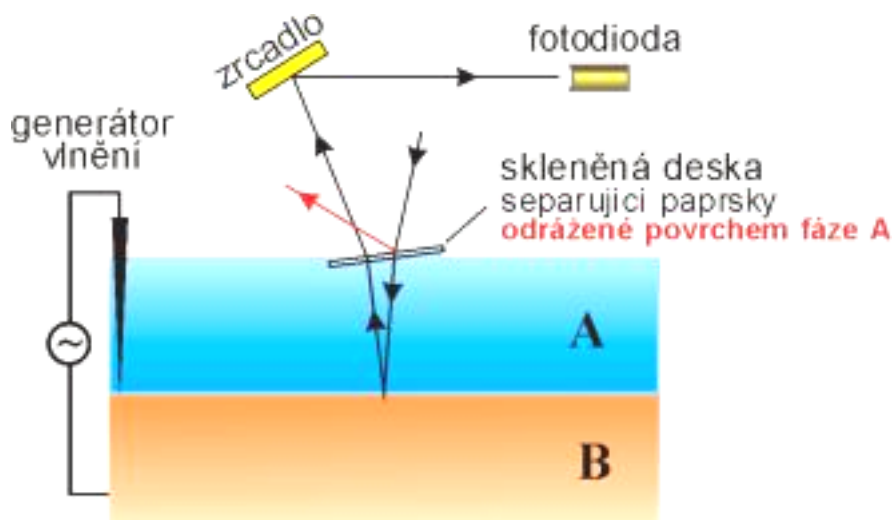
Obr. 22: Rozptyl světla na fázovém rozhraní [21]

2.2.2.3.3 Kapilární vlnění

Na povrchu kapaliny, který je periodicky narušován mechanickými, akustickými nebo jinými impulsy (někdy stačí pouze tepelný pohyb molekul), vzniká vlnění, které se nazývá vlnění kapilární. Pro rychlost šíření vlnění v na povrchu kapaliny o hustotě ρ a povrchovém napětí γ platí rovnice, odvozená Kelvinem [28]:

$$v^2 = \frac{g \cdot \lambda}{2\pi} + \frac{2\pi \cdot \gamma}{\rho \cdot \lambda} \quad (11)$$

První člen, charakterizující vliv gravitace, převažuje při velkých vlnových délkách λ , druhý člen vyjadřuje vliv povrchového napětí kapaliny. Ze změřené vlnové délky vznikajícího vlnění a z rychlosti šíření vlnění je možno vypočítat povrchové napětí (detailní matematický popis jevu je značně složitý) [21].



Obr. 23: Schéma experimentálního uspořádání při měření kapilárního vlnění [21]

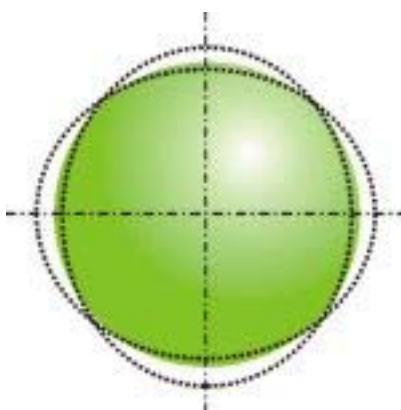
Metoda může být použita i pro měření mezifázového napětí kapalina-kapalina. Příklad experimentálního uspořádání ukazuje obr. 23. Vlnění je na fázovém rozhraní generováno mechanicky (kmitající ocelová jehla, která naráží do platinového drátu umístěného v rozhraní) a šířící se vlnění je pozorováno opticky [21].

2.2.2.3.4 Metoda oscilující kapky

Je již dlouho známo, že frekvence oscilující a volně padající kapky je velmi citlivým a neinvazním parametrem studií povrchových vlastností. Princip metody spočívá ve stanovení změny tvaru oscilující kapky [29].

Metoda oscilující kapky umožňuje měřit povrchové napětí a viskozitu kapalin bez působení vnějších sil za mikrogravitačních podmínek.

Metoda využívá rezonančních vlastností systému tvořeného kapkou jedné kapaliny, která se účinkem akustických sil vznáší v druhé kapalině (1) nebo kapkou kapaliny, vznášející se ve vakuu účinkem elektromagnetického pole (2), k měření mezifázového napětí v prvním případě, povrchového napětí v druhém případě. Oscilující kapku je možno přirovnat k mechanickému oscilátoru [21].



Obr. 24: Kapka oscilující ve čtyřpólovém módu a její extrémní polohy [21]

Výhody této metody:

- kapaliny nepřicházejí do styku s žádnou další tuhou fází, a proto je možno provádět měření i s kapkou v metastabilním stavu (např. přehřáté kapaliny)
- kapka může být udržována po velmi dlouho dobu, což znamená dostatek času na měření a lze monitorovat změny v mezifázovém napětí v závislosti na změnách okolních podmínek
- možnost měřit při vysokých teplotách (měření povrchových napětí roztavených kovů) [21]
- termofyzikální vlastnosti kapalin lze stanovit bez chyby znečištěním (vzorek nepřijde do styku s kádinkami nebo jinými substráty)
- použití velmi malého množství zkoumané kapaliny a přesné stanovení hledaných povrchových vlastností

Tato metoda byla založena Rayleighem a Lambem a byly odvozeny tyto vztahy pro výpočet povrchového napětí:

$$\gamma = \frac{3\pi M v^2}{n(n-1)(n+2)} \quad (12)$$

Kde γpovrchové napětí
 Mhmotnost kapky
 noznačení oscilačního módu
 vfrekvence oscilace

Pro výpočet viskozity:

$$\eta = \frac{3M}{20\pi\tau R} \quad (13)$$

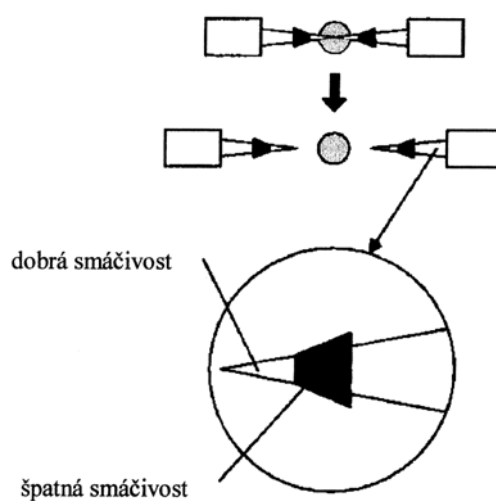
Kde ηviskozita

τjednotka útlumu

Rpoloměr kapky ve stabilním stavu

Utváření kapky

Kapka je umístěná mezi dvě jehly, které jsou naproti sobě. Potom se jehly velmi rychle začnou pohybovat od sebe. Pro zjištění malé oscilace kapky je nutná nižší počáteční rychlost kapky (kapka se významně zvětší). Při příliš velké počáteční rychlosti kapky, by se kapka dostala velmi rychle vně pozorovací oblast a měření by bylo neefektivní.



Obr. 25: Schématický diagram utváření kapky

Geometrie jehly

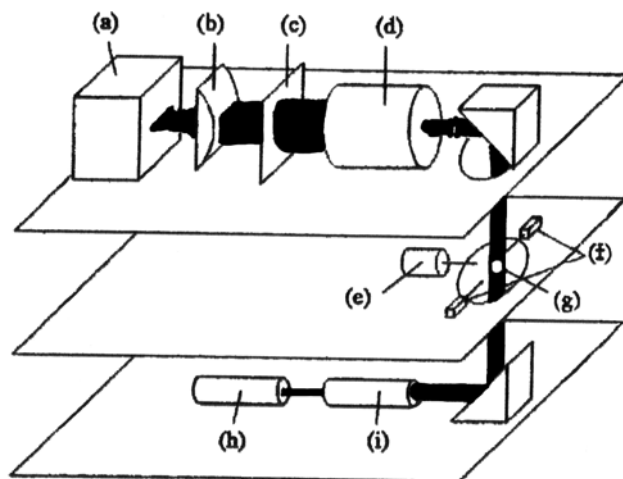
Geometrie jehly je jeden z nejdůležitějších faktorů. Špička jehly je zabroušena do tvaru kruhového kužele, což zajišťuje postupné snižování mezipovrchové volné energie mezi jehlou a kapkou. Kapka má menší sílu a dochází k snadnějšímu vytažení jehly z kapky.

Smáčivost kapky

Dalším důležitým faktorem pro stabilní vnášení kapky je smáčivost jehly. Používají se dobře smáčivé jehly částečně pokryté málo smáčivým filmem, které zajišťují kontrolu počáteční rychlosti téměř od nuly.

K zaznamenávání rychlých a malých oscilací slouží paprskový senzor, který je schopný zaznamenat 7200 paprsků za sekundu s rozlišením 2048 pixelů.

Laser zajišťuje prosvětlení systému a snižuje tak problémy se zaměřením oscilující kapky. Dále je použit mechanismus autozaměrování nebo čočky se širokou tloušťkou zorného pole [30].

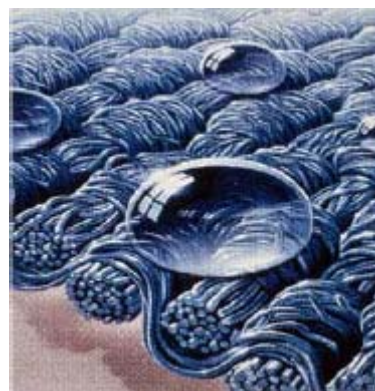


Obr. 26: Schématický diagram měřicího systému vyvinutého v Japonsku:

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| (a) Paprskový senzor | (f) Jehly |
| (b) Cylindrická čočka | (g) Vznášející se kapka |
| (c) Čtvercová štěrbina | (h) Laser |
| (d) Rozpínka paprsku | (i) Paprsková rozpínka |
| (e) Zásobník kapaliny | |

2.2.3 SMÁČENÍ

Vlákno je s kapalinou pouze v místním styku (např. částečně ponořeno, kapky kapaliny na povrchu atd.). V těchto případech dochází k procesům smáčení, což se projeví ustavením rovnováhy mezi kapalinou a povrchem vlákna. Smáčení je výsledkem energetických interakcí tří fází tj. pevné látky, kapaliny a okolního vzduchu (plynné fáze) v rovnováze [1].



Smáčení je dynamický proces. Spontánní smáčení je migrace kapaliny na povrchu pevné látky k dosažení termodynamické rovnováhy. Vynucené smáčení zahrnuje vnější hydrodynamické a mechanické síly, které zvětšují plochu mezifází pevná látka-kapalina nad statickou rovnováhu. Smáčená plocha může mít komplikovanou geometrii [31].

Smáčení vlákenného svazku, stejně jako textilie, je komplikovaný proces. Různé smáčecí mechanismy jako vzlínání, proudění, adheze a kapilární penetrace se mohou vyskytovat současně [32].

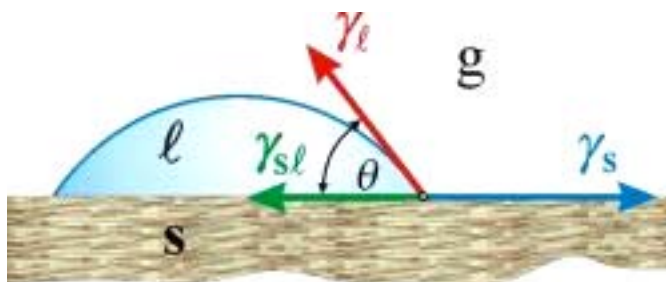
hystereze smáčení

Hystereze smáčení představuje schopnost kapaliny vytvářet při styku s pevnou látkou několik stálých (metastabilních) úhlů smáčení, lišících se velikostí od úhlu rovnovážného [31].

2.2.3.1 Kontaktní úhel neboli úhel smáčení

Kontakt kapaliny s pevnou látkou je možné popsat pomocí smáčecího úhlu [33].

Úhel, který svírá tečna k povrchu kapky, vedená v bodě styku kapky s rozhraním - hlavní charakteristika tvaru kapky kapaliny umístěné na povrchu nerozpustné tuhé látky (obr. 27).



Obr. 27: Kapka kapaliny na tuhém povrchu

Kde: ℓ = kapka, kapalná fáze
s = podložka, pevná fáze
g = vzduch, plynná fáze

Vztah mezi úhlem smáčení θ a jednotlivými mezifázovými energiemi je dán Youngovou rovnicí.:

$$\gamma_{\ell} \cdot \cos \theta = \gamma_s - \gamma_{sl} \quad (14)$$

Kde, γ_{ℓ} a γ_s jsou povrchové energie kapaliny, popř. tuhé látky, γ_{sl} – mezifázová energie tuhá látka-kapalina. Úhel smáčení je jednou z mála přímo měřitelných vlastností fázového rozhraní pevná látka/kapalina/plyn.

2.2.3.2 Zdánlivý kontaktní úhel

Při sledování smáčivosti textilních materiálů je třeba jmenovat zdánlivý kontaktní úhel. Zdánlivým kontaktním úhlem rozumíme každý kontaktní úhel, jehož velikost souvisí s chemickým složením, ale i s jinými parametry testovaného povrchu.

Základním důvodem zdánlivosti je komplikovaná geometrie povrchu a nehomogenita povrchu [33].

zdánlivý kontaktní úhel na textilií

U porézních nehomogenních struktur, jejichž příkladem jsou textilie, je situace komplikovanější než u homogenních substrátů. Při kontaktu kapaliny s textilním materiálem lze sledovat kontaktní úhel, který je vždy nutné považovat za zdánlivý [33].

2.2.4 VZLÍNÁNÍ KAPALINY

Transport kapaliny do vlákenného svazku, příze nebo tkaniny může být zapříčiněn vnějšími silami. Vzlínáním rozumíme spontánní transport kapaliny směřovaný do porézní soustavy kapilárními silami [33].

Vzlínání nastane, jestliže je textilie úplně nebo částečně ponořena do kapaliny nebo je v kontaktu s určitým množstvím kapaliny jako např. kapka nanesená na textilií. Poté může dojít ke kapilárnímu průniku kapaliny z nekonečného nebo omezeného zásobníku kapaliny [2].

Vzlínání a smáčení nelze považovat za dva odlišné procesy. Samovolné smáčení je předpokladem pro následné samovolné vzlínání [33]. Kapalina, která nesmáčí vlákna, nemůže vzlínat do textilie. Ke vzlínání může dojít pouze když jsou shluky vláken s kapilárními mezerami mezi nimi smáčeny kapalinou. Výsledné kapilární síly vedou kapalinu do kapilárních prostor [2].

Povrchově aktivní látky výrazně ovlivňují vzlínání a jeho kinetiku, zejména vzlínání z omezeného zásobníku kapaliny (tj. malé množství kapaliny) [2].

Vzlínání souvisí jak s energetickými poměry mezi jednotlivými fázemi, tak i geometrií vlákenného svazku [1].

Vzlínání lze rozdělit dle více kritérií:

- ***podle orientace textilie vůči směru vzlínání kapaliny:***
 1. vzlínání podélné – kapalina vzlíná v rovině textilie
 2. vzlínání příčné – kapalina proniká kolmo na textilií (skrz textilií)
- ***podle velikosti zásobníku vzlínající kapaliny:***
 1. konečný zásobník- časem se vyčerpává a mění své vlastnosti (např. kapka na textilií)
 2. nekonečný zásobník – časem se nemění (kádinka velkého objemu)

- *podle působení vnějších sil:*

1. samovolné vzlínání – nepůsobí vnější síly
2. nucené vzlínání – působí vnější síly

- *podle orientace směru vzlínání kapaliny vůči gravitaci*

1. ve směru gravitace – čelo kapaliny se pohybuje dolů
2. proti směru gravitace – čelo kapaliny se pohybuje nahoru
3. kolmo na směr gravitace - čelo kapaliny se pohybuje vodorovně

2.2.4.1 Dynamika vzlínání

Základním vztahem dynamiky procesu vzlínání je Lucas-Washburnova rovnice, která se používá již téměř sto let. Tato rovnice vychází z rovnováhy mezipovrchových a gravitačních sil pro kapalinu mezi vlákny.

2.2.4.2 Vzhlínání do tkaniny

Tkaninou zde myslíme tkaninu s plátňovou vazbou, jejíž obě soustavy nití mají stejné vlastnosti. Distribuce kapaliny v přízi je prakticky rovnoměrná. V tkaninách je situace mnohem komplikovanější. Kapalinu v textilií lze rozdělit na :

- Kapalinu v přízi
- Kapalinu mezi přízemi

model vazného bodu z hlediska vzhlínání

Struktura vazného bodu ovlivňuje vzhlínání kapaliny do tkaniny. **Reálný vazný bod** je velmi geometricky komplikovaný útvar, který nelze popsat pro účely vzhlínání dostatečně přesně popsat. Vazným bodem se rozumí část tkaniny, která se v tkanině periodicky opakuje jako nejmenší [33].

Tyto procesy (smáčení a vzhlínání) jsou důležité z technologického hlediska, protože ovlivňují řadu zušlechťovacích a pracích procesů, přípravu kompozitních struktur a procesy tvorby některých textilních struktur.

2.3 ZÁHUSTKY

Záhustky jsou nejdůležitější součástí tiskacích past a určují svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi jejich vlastnosti. Záhustka je nosným prostředím pro barviva, chemikálie, pomocné prostředky a rozpouštědla, které se jejím prostřednictvím dostávají do vzájemného kontaktu a do kontaktu s vlákny [11].

Záhustky se připravují ze zahušťovadel, což jsou obvykle přírodní nebo různě modifikované vysokomolekulární látky koloidní povahy. Rozpuštěním zahušťovadel za studena nebo za horka se získají koloidní roztoky zvané záhustky.

Funkce zahušťovadel v textilních pastách je mnohostranná [34]. Hlavní úloha záhustky je překonání kapilárních sil potiskovaných textilních materiálů, čímž zabráníme rozpíjení barviv a tisk bude dokonale ostrý.

2.3.1 DRUHY ZAHUŠŤOVADEL

Zahušťovadla v textilním průmyslu lze rozdělit:

- ❑ Přírodní
- ❑ Emulzní
- ❑ Syntetická

2.3.1.1 Přírodní zahušťovadla

Škroby a jejich deriváty

Jsou to polysacharidy ze zrn, plodů a hlíz. K zahuštění tiskacích past se nejvíce používá kukuřičný a pšeničný škrob, jehož tokové vlastnosti nevykazují anomálie jako je tomu u bramborového škrobu. Přesto je používání škrobových záhustek dnes málo obvyklé, neboť při potisku větších ploch dochází k nerovnoměrnostem. Další nevýhodou je jejich špatná vypratelnost po zafixování barviva.

Častěji se dnes používají deriváty škrobu např. karboxymethylether škrobu, který se vyrábí z nativních nebo odbouraných škrobů působením kyseliny monochloroctové za přítomnosti alkálie. Karboxymethylether škrobu je snadno vypratelný po zafixování barviva a zvyšuje difúzi barviv do vlákna.

Deriváty celulózy

Mezi deriváty celulózy patří karboxymethylether celulóza, která se používá jen ve formě rozpustné ve studené vodě. Její nevýhodou jsou její tokové vlastnosti a vysoká lepivost.

Jádrové moučky a jejich deriváty

Karubin a guaran jsou smíšené polysacharidy tzv. galaktomany mající velice podobné chemické složení.

Karubin je výtažkem moučky ze semen svatojánského chleba a je rozpustný v horké vodě. Guarán je moučka z guarových bobů a je rozpustný ve studené vodě. Nevýhodou těchto zahuštěk je jejich sklon k řidnutí v alkalickém prostředí.

Algináty

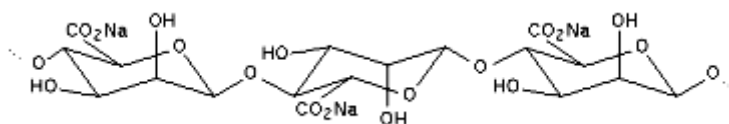
Zahušťovadlo alginát sodný se získává z hnědých mořských řas (*Laminaria Digitata*) a používá se ve formě sodných, amonných nebo hořečnatých solí kyseliny alginové [34].



Obr. 28 : Obrázek chaluhy hnědé mořské řasy [35]

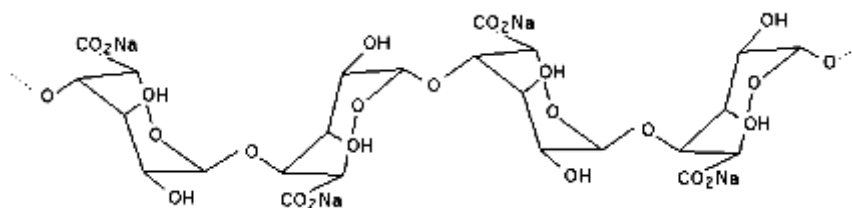
Struktura alginátu

Původní myšlenka byla, že alginát se skládá z jednotlivých polymerů kyseliny manurové jak je uvedeno na obr. 29 [35].



Obr. 29: Sodná sůl kyseliny polymanurové [35]

Nicméně pozdější studia ukázala přítomnost kyseliny glukuronové (struktura na obr. 30) [35].



Obr. 30: Sodná sůl kyseliny polyglukuronové [35]

Nyní je prokázáno, že alginát je lineární kopolymer β -D-manurové kyseliny a α -L-glukuronové kyseliny. Poměr manurových a glukuronových řetězců se může různit v závislosti na původu mořské řasy a rostoucích podmínkách [35].

Zahušťovadlo alginát se rozpouští ve studené i teplé vodě za postupného vyspávání a současného intenzivního míchání. Se stoupající teplotou klesá jeho viskozita, při následném ochlazení viskozita opět stoupá.

Alginátové zahušťky jsou citlivé na kyseliny, částečně na alkalické uhličitany, vápenaté soli a jiné soli vícemocných kovů, kde dochází ke srážení a koagulaci. V přítomnosti silných zásad se ztekucují. Přechovávají se za přítomnosti fungicidů. Lze je mísit se všemi ostatními zahušťkami. Příprava je snadná, vypratelnost dobrá [34].

V textilním tisku mají alginátové zahušťky velký význam, neboť nereagují s reaktivními barvivy. Je to způsobeno tím, že narozdíl od jiných zahušťovadel, neobsahují ve své molekule reaktivní primární alkoholové skupiny.

2.3.1.2 Emulzní zahušťovadla

Emulzní zahušťky jsou vysokoviskózní disperzní soustavy složené ze souvislé vnější fáze a nesouvislé vnitřní fáze. Používané emulze mohou být typu „olej ve vodě“ nebo „voda v oleji“. Jako olejová ve vodě nerozpustná fáze se používá lakový benzín, frakce 140 až 210 °C. Tento disperzní stav je zajištěn přítomností emulgátoru, který se hromadí na rozhraní obou fází a stabilizuje emulzi. Charakter disperze je závislý na vlastnostech emulgátoru a na vlastnostech vnější fáze [11].

Z ekologických a bezpečnostních důvodů se čisté emulzní zahušťky v současné době používají jen výjimečně.

2.3.1.3 Syntetická zahušťovadla

Syntetická zahušťovadla jsou makromolekulární látky – ve vodě rozpustné soli syntetických polymerů. Zahušťovací účinek je úměrný stupni disociace polymerů. V nedisociovaném stavu je viskozita roztoku nízká, naopak v disociovaném stavu je viskozita vyšší.

Tyto zahušťky slouží jako náhrada emulzních zahuštěk, neboť vykazují obdobné vlastnosti. Z celé řady výrobků je možné uvést: deriváty kyseliny maleinové, deriváty kyseliny akrylové, kopolymery styrenu a derivátů kyseliny akrylové a další.

2.4 TENZIDY

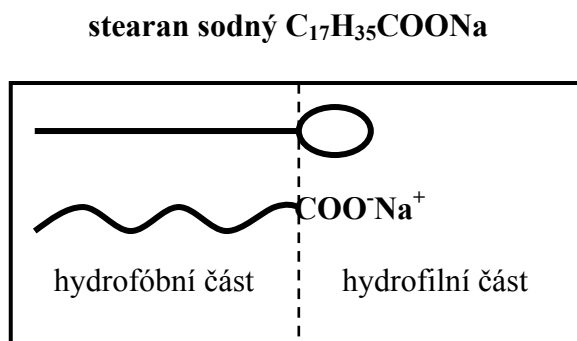
2.4.1 VLASTNOSTI TENZIDŮ

Tenzidy jsou povrchově aktivní látky (PAL), které mají pro zušlechťování textilií velký význam. Tyto látky působí jako prací, čistící, avivážní a dezinfekční prostředky. Dále umožňují a zrychlují průběh zušlechťovacích operací jako smáčedla, dispergátory, emulgátory, egalizační prostředky atd..

Tenzidy jako PAL jsou schopny už při nízkých koncentracích ve velké míře měnit podmínky na fázovém rozhraní, což znamená, že tenzidy jsou schopny snižovat povrchové napětí. Jsou to takové látky, které při nízké koncentraci, např. 0,01% sníží povrchové napětí vody ze $72 \cdot 10^{-3}$ na $30 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$. Tyto vlastnosti jsou způsobené chemickou a fyzikální strukturou molekul tenzidů, které mají asymetrický dipolární charakter s výrazným dipólovým momentem. Molekuly těchto látek se skládají z polární a nepolární části:

- **Polární část** (hydrofilní) – ovlivňuje rozpustnost tenzidu. (ionogenní skupina - COO^- , - SO_3^- , - OSO_3^- nebo neionogenní skupina - CONH^- , - SO_3NH^-)
- **Nepolární část** (hydrofóbní) – je příčinnou povrchové aktivity tenzidu. Tvoří ji dlouhý uhlíkatý řetězec z alifatických řetězců alkanů a alkenů, nebo zbytky aromatických sloučenin (dále označován jako R).

Molekula tenzidu má tedy amfipatickou molekulu, což způsobuje právě polární a nepolární část tenzidu.



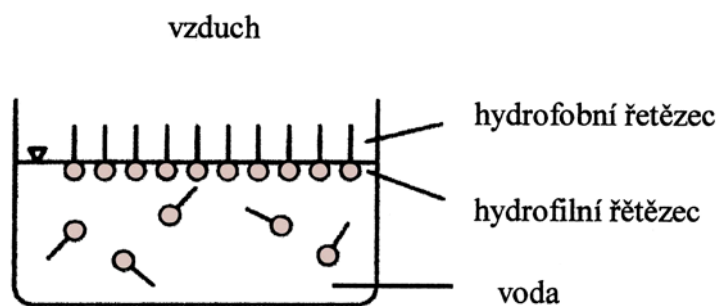
Obr. 31: Znázornění amfipatické struktury molekul povrchově aktivních látek

Pro povrchově aktivní látky je typické orientovaná adsorpce, která se projevuje na rozhraní dvou fází a snižuje mezipovrchové napětí mezi oběma fázemi. Dochází k vzájemné interakci vanderwaalsovského charakteru mezi molekulami tenzidu, ale i mezi jednotlivými částmi molekul tenzidu a molekulami vody. Voda má zvýšenou afinitu k hydrofilní části a odpuzuje hydrofóbní úsek molekuly tenzidu.

Molekuly tenzidu difundují na povrch kapaliny, adsorbují se na fázovém rozhraní a vytvářejí monomolekulární orientovanou vrstvu povrchového filmu. Nepolární část molekuly je příčinou její povrchové aktivity, polární část způsobuje její rozpustnost [36].

Současně má hydrofóbní část molekuly lipofilní charakter (přitažlivost k mastným – nepolárním látkám) a hydrofilní část má lipofóbní charakter (nepolární látky odpuzuje).

Při zušlechťování textilií dochází k orientované adsorpci tenzidů, např. mezi částicemi nečistoty a prací lázni, textilním vláknem a lázni, částicemi barviva a barvicí lázni apod. Tento děj je proto nesmírně důležitý a umožňuje a urychluje procesy praní, smáčení, dispergaci, emulgaci atd.



Obr. 32: Orientovaná adsorpce povrchově aktivní látky na povrchu vody

2.4.2 ROZDĚLENÍ TENZIDŮ

Podle iontového charakteru dělíme povrchově aktivní látky na:

- ionické-anionické
- kationické

- neionické
- amfolytické

Ionicitu rozlišujeme podle elektrického náboje, který zůstane na organické části molekuly tenzidu po její disociaci ve vodě.

2.4.3 TVORBA MICEL A KRITICKÁ MICELÁRNÍ KONCENTRACE

Rozpouštění tenzidů ve vodě vyžaduje k překonání odporu, který kladou nepolární části molekuly tenzidu, určitou minimální volnou energii. Ta je dána nejmenší možnou styčnou plochou mezi molekulami vody a nepolární částí molekuly tenzidu. V roztoku se realizuje agregací molekul tenzidu do útvaru zvaných micely.

Tvorba micel se projeví při určité koncentraci tenzidu. Změní se vlastnosti tenzidu a dochází ke snížení povrchového napětí, což s sebou přináší zlepšení prací schopnosti. Tuto koncentraci nazýváme kritickou micelární koncentrací – KMK.

Tenzidy tedy tvoří ve vhodném rozpouštědle a při velkém zředění pravé roztoky, ale s rostoucí koncentrací se jednotlivé molekuly spojují a vytvářejí micely [36].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 POUŽITÉ TENZIDY

ABESON INA

Vyrábí a dodává: ENASPOL, a. s.

Složení: vodný roztok sodné soli lineární alkylbenzensulfonové kyseliny (LABS) s přídavkem ztekucovadel. Vyrábí se neutralizací ABESONu - t. j. LABS.

Vlastnosti:

- Vzhled při 25°C: hnědožlutá viskózní kapalina
- hustota při 20°C: cca 1,1 g.cm⁻³
- barva 50% roztoku: 8°
- pH 1 % roztoku: 6,5÷8,0
- aktivní látky: 45 %
- obsah: Na₂SO₄: 2,5 %
- **kritická micelární koncentrace: 2 - 3 g.l⁻¹ [37]**

Ionogenita: anionický

Hlavní oblast použití: Abeson INA je používán jako základní složka pracích, čistících, odmašťovacích a smáčecích přípravků, případně pro tyto účely po naředění i samostatně.

Příklad použití: **Koncentrát kapalného mycího detergentu:**

- | | |
|----------------|----------------|
| · ABESON INA | 45 % hmot. |
| · SPOLAPON AES | 233 34 % hmot. |
| · voda ad | 100 %. |

Textilní průmysl

Praní a předepírání, beztlaká vyvářka celulóзовých a směsných materiálů, smáčení a praní při barvení anionickými nebo disperzními barvivy, mydlení tisků kypovými, sirnými nebo reaktivními barvivy: 0,5÷10 g ABESONu INA / l.

Těžební průmysl

Smáčedlo do výplachových kapalin pro vrty (další složkou jsou komplexační činidla): 1÷5 g ABESONu INA / l.

Strojírenství

Čištění, smáčení, odmašťování povrchů: 1÷10 g ABESONu INA / l.

Skladování:

ABESON INA by měl být skladován v uzavřených zásobnících s antikorozní úpravou nebo v původních těsně uzavřených obalech v suchých prostorách při teplotách 15÷40°C. Záruční doba je 6 měsíců ode dne vyskladnění.

Hygiena a ochrana zdraví při manipulaci s výrobkem: Abeson INA není jedem ani žíravinou ve smyslu platných předpisů. Má však v koncentrovaných roztocích silné odmašťující účinky a může u citlivých osob vyvolat podráždění pokožky a sliznic [38].

ALFONAL KD

Vyrábí a dodává: ENASPOL, a. s.

Složení: diethanolamid kokosové kyseliny (1:1), vyráběný z kokosového
tuku

Vlastnosti:

- vzhled při 20°C: čirá nažloutlá viskózní kapalina
- hustota při 20°C: 1,01 g.cm⁻³
- dynamická viskozita při 20°C: 1,15 Pa.s
- volné mastné kyseliny: 0,8 %
- volný glycerol: 9 %
- pH 1 % vodného roztoku: 9,0 – 10,5
- **kritická micelární koncentrace: 4 - 5 g.l⁻¹ [37]**

Ionogenita: prakticky neionogenní

Použití: Alfonal KD se používá v tenzidových formulacích jako smáčedlo, zesilovač pění a stabilizátor pěny, jako změkčující a antistatická přísada, dotučňovadlo, jako fixativ parfémů a solubilizační agens pro komponenty obtížně mísitelné s vodou, i jako účinný dispergátor a O/V V/O i emulgátor umožňující detergenční schopnost přípravku. Schopnost alkanolamidu zvyšovat viskozitu tenzorových roztoků je využívána pro zahušťování přípravků, pokud není přípravek anorganických solí žádoucí, a nebo pokud je pro tento účel nelze použít.

Hygiena a ochrana zdraví při manipulaci s výrobkem: Alfonal KD je prakticky nejedovatý. V koncentrovaném množství však může při dlouhodobém nebo opakovaném kontaktu vyvolat podráždění pokožky, očí a sliznic [39].

FLAVOL LDA

Vyrábí a dodává: ENASPOL, a. s.

Složení: amfoterní tenzid na bázi N-laurylamidopropyl-N,N-dimethyl-N-karboxymethyl-amonium betainu (CTFA: Lauramidopropyl Betaine) ve formě vodného roztoku:



Vlastnosti:

- vzhled při 20°C: čirá nepatrně nažloutlá lehce viskózní kapalina
- aktivní látky: 30±1 %
- chloridy (jako NaCl): 4,5–6,0 %
- pH 3 % roztoku: 5÷7
- **kritická micelární koncentrace: 3,5- 4 g.l⁻¹ [37]**

Ionogenita: amfoterní

Použití: Flavol LDA se používá jako složka tenzidových směsí, především pak přípravků osobní hygieny a kosmetických. K jeho typickým vlastnostem patří výborná pěnivost a stabilita pěny i ve tvrdé vodě, velmi dobrá snášenlivost s pokožkou a sliznicemi a schopnost příznivě ovlivnit i dermatologické účinky finálních receptur, kondicionační efekt vůči vlasu a pokožce, kompatibilita s ostatními typy

povrchově aktivních látek a posléze schopnost zvyšovat viskozitu aplikačních formulací, včetně formulací založených na alfaolefinsulfonanech.

Skladování: Skladován by měl být v původních těsně uzavřených obalech v suchých prostorech při teplotách $5\pm 30^{\circ}\text{C}$. Záruční doba je 6 měsíců ode dne vyskladnění.

Hygiena a ochrana zdraví při manipulaci s výrobkem: Výrobek má v koncentrovaných roztocích odmašťující účinky a u citlivých osob nelze zcela vyloučit podráždění pokožky a sliznic. Výrobek není hořlavou kapalinou ve smyslu ČSN [40].

3.2 POUŽITÉ ZAHUŠŤOVADLO

PRINTEX S 500 (FIRMA LAMBERTO LAMBERTINO)

Chemické složení: vysokoviskózní zahušťovadlo na bázi alginátu

Vlastnosti:

- Anionická látka
- Odolný vůči elektrolytům a alkáliím

Příprava: postupným vmícháváním zahušťovadla do studené vody za současného intenzivního míchání

Výrobce doporučovaná koncentrace z obchodního produktu pro textilní tisk: záhustka se připravuje v 3% - 4% koncentraci, 45g.kg^{-1} [41]

3.3 POUŽITÁ TEXTILIE

Tkaninu dodala firma **Tiba a.s.** Dvůr Králové nad Labem.

- Bavlna
- Neupravená
- Opticky zjasněná

Parametry:

- Osnova: 270 nití/ 1dm
- Útek: 230 nití/ 1dm
- Plošná hmotnost: 146,11g/m²
- Tloušťka: 0,0284cm
- Vazba plátňová

3.4 POUŽITÉ BARVIVO

SATURNOVÁ ČERŇ LN

K identifikaci průniku (provzlínání) roztoku alginátu do návinu textilie byla použita Saturnová Čerň LN v koncentraci 0,5g.l⁻¹. Zvolená koncentrace je dostatečná k probarvení sledované soustavy. Toto barvivo bylo vybráno také z toho důvodu, že nemění viskozitu a povrchové napětí studované soustavy.

Předpokládáme, že soustava alginát, destilovaná voda, barvivo, tenzid se chová při transportu bavlněnou textilií jako neafinní soustava a že všechny složky se transportují bavlněnou textilií ve stále stejném složení jaké má soustava na počátku transportu.

Barvivo je dobře rozpustné a nedisperguje v soustavě.

Charakteristika: přímé barvivo stálé na světle

3.5 MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ

Pro stanovení povrchového napětí roztoků zahušťovadla a roztoků zahušťovadla s přídavkem tenzidu byla použita Wilhelmyho destičková metoda.

3.5.1 WILHELMYHO DESTIČKOVÁ METODA

Měření povrchového napětí Wilhelmyho metodou bylo provedeno na zařízení KRÜSS na Katedře netkaných textilií.

Čištění před měřením

Před samotným měřením je nutné pokaždé vyčistit platinovou destičku, neboť přístroj je velmi citlivý. Destička se nejprve opláchne pod proudem teplé vody a poté v roztoku acetonu. Následně se vyvaří v destilované vodě po dobu dvou minut a pak se vyžihá nad plamenem dokud nedojde k zčervenání – žihání je u konce. Destička se musí nechat vychladnout, neboť povrchové napětí je citlivé na změnu teploty a pokud by se destička nenechala po určitou dobu vychladnout, mohlo by dojít ke zkreslení výsledků měření.

Stejným způsobem je nutné vyčistit i skleněnou kádinku používanou pro měřenou kapalinu.

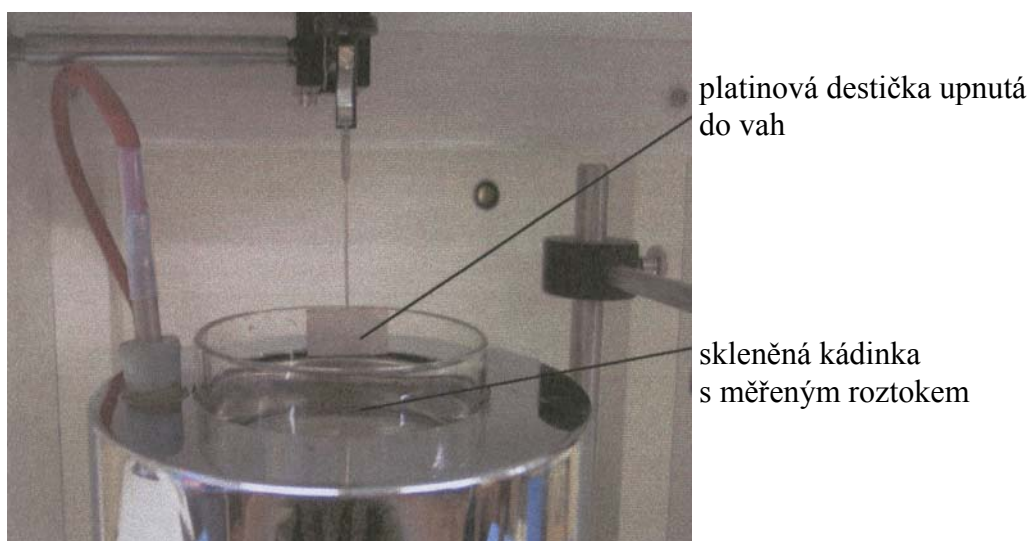
Samotné měření

Následuje samotné měření. Do skleněné nádoby se nalije měřený roztok a vloží na příslušné místo. Platinová destička definovaných rozměrů se upne do vah a přístroj se odaretuje. Po spuštění měření se pomalu zvedá úroveň hladiny kapaliny, až se dotkne visící destičky zavěšené do vah. Zaznamenává se přírůstek na váze destičky. Kapalina smáčí povrch destičky, která je ponořena do definované výšky. Po naměření příslušného počtu hodnot povrchového napětí dle nastavení uživatele, klesá kapalina zpět do výchozí polohy

Základní údaje platinové destičky:

- ❑ Šířka destičky: 19,900 mm
- ❑ Tloušťka destičky: 0,2 mm
- ❑ Hloubka ponoru destičky do kapaliny: 2 mm
- ❑ Citlivost vah: 0,01 g
- ❑ Časový interval mezi zaznamenáváním hodnot povrchového napětí: 2s
- ❑ Maximální možný počet naměřených hodnot povrchového napětí: 100

[42]



Obr. 33: Měřicí element zařízení KRÜSS



Obr. 34: Zařízení KRÜSS pro měření povrchového napětí Wilhelmyho metodou

3.6 MĚŘENÍ VSKOZITY

Pro stanovení viskozity byl použit viskozimetr Viscotester VT 550 firmy HAAKE. Tento laboratorní přístroj se používá ke stanovení reologických parametrů kapalných nebo polotuhých látek.

Přístroj se skládá z následujících částí:

- ❑ Viskozimetr VT 550 a jeho zdroj energie
- ❑ Temperovací nádobka se senzorovým systémem
- ❑ Stojan

Princip funkce

Měřená kapalina se umístí do prostoru mezi rotorem a pevnou částí senzorového systému. Rotor se otáčí předvolenou rychlostí. Měřená kapalina projevuje odpor vůči tomuto rotačnímu pohybu (v důsledku své viskozity), který se jeví jako (brzdný) kroutící moment na měřicím systému VT 550.

Vestavěný počítač vypočítá odpovídající hodnoty viskozity η , smykové rychlosti D a smykového napětí τ podle rychlosti otáčení, kroutícího momentu a geometrie senzorového systému (systémového faktoru).

Teplota T je rovněž vyhodnocena ve $^{\circ}\text{C}$, je-li připojeno teplotní čidlo.

Přístroj je ovládán přímo z počítače pomocí tzv. aplikačního softwaru tak, že automaticky měří a vyhodnocuje výsledky.

Senzorové systémy

Viskozimetr VT 550 může být používán s různými druhy senzorových systémů. Každý senzorový systém se skládá ze statoru a rotoru a má dané určité rozpětí pro měření viskozity, které je dáno vlastnostmi měřené kapaliny.

K měření viskozity kapalin o střední viskozitě se používá senzorový systém MV. Je to koaxiální válcový systém s MV statorem a třemi různými rotory pro rozšíření rozpětí měření. Vzorek kapaliny musí dosahovat ke značkám uvnitř nádoby statoru. Horní hladina kapaliny má přetékat hranu horního vybrání rotoru.

Pro měření kapalin o vysoké viskozitě se používá senzorový systém SV. Je to opět kaotický válcový systém s SV statorem a dvěma různými rotory pro rozšíření rozpětí měření. Pro měření platí stejné podmínky jako u senzorového systému MV.

Čištění

Po každém měření je nutné senzorový systém rozšroubovat a vyčistit pod proudem tekoucí vody.

Před samotným měřením je nutné nastavit rychlost otáčení, použitý senzorový systém a dobu, po které bude měření prováděno. Při měření se zaznamenává toková křivka určující závislost smykového napětí na gradientu rychlosti, čímž se charakterizují reologické vlastnosti zkoumané látky.

V našem případě bylo měření provedeno senzorovým systémem SV pro stanovení viskozity roztoků zahušťovadla a roztoků zahušťovadla s přídavkem tenzidu. Rychlost otáčení byla nastavena na konstantní, 100 otáček za minutu. Rychlost otáčení 100 otáček za minutu byla zvolena jako optimální rychlost pro změření celé koncentrační řady roztoků zahušťovadla (od nejnižších hodnot viskozity až k nejvyšším hodnotám). Doba měření všech vzorků byla nastavena na 60 sekund při teplotě $23,5 \pm 1^\circ\text{C}$.



Obr. 35: Viscotester VT 550 firmy HAAKE [8]

3.7 OBRAZOVÁ ANALÝZA LUCIA

Pro vyhodnocení vzorků jsme použili obrazovou analýzu LUCIA G (Laboratory Universal Computing Image Analysis) - Verze 4.61.

LUCIA je systém obrazové analýzy určený ke sledování, snímání, archivaci a ručnímu nebo automatizovanému měření preparátů [43].

Systém umožňuje objektivní sledování barevných změn a intenzity zvolené barevné složky. Informace o barevnosti jednotlivých obrazových bodů (pixelů) pak poskytuje v souřadnicích RGB.

Podstatou systému Lucia G je zpracování a vyhodnocení barevného obrazu na základě analýzy objektu jako množiny bodů.

Klíčovým krokem analýzy obrazu je tzv. segmentace, při které jsou v obraze označeny objekty určené k hodnocení, teprve pak je možné provést měření a stanovit požadované morfometrické nebo denzitometrické vlastnosti objektů např. plochu, obvod, délku, kulatost objektů nebo intenzitu zvolené barevné složky [44]. V našem případě jsme stanovovali střední intenzitu šedi jednotlivých polí (vrstev) v návinu textile (dále definováno v kapitole 3.8 Experiment).

Složení přístroje:

- optický přístroj (mikroskop, stereomikroskop resp. makrooptika)
- kamera nebo digitální fotoaparát
- nezbytný počítač a softwarové vybavení, které umožňuje snímat obrazový signál z předlohy (mikroskopického preparátu) a získaný kvalitní digitalizovaný obraz zobrazit na monitoru [43]

Aktivní verze LUCIA je software, který podporuje živé snímání a pracuje s kamerou. Pasivní verze LUCIA je software, který pracuje s již sejmutými obrázky resp. je vhodný k digitálním fotoaparátům a skenerům [43].

Naměřená data lze exportovat například do programu Word nebo Excel k dalšímu zpracování [45].

3.8 EXPERIMENT

Sledovali jsme koncentrační řadu roztoků alginátu (10, 15, 20, 25, 30 g.l⁻¹) od roztoků s nejnižší viskozitou až po roztoky s nejvyšší viskozitou, kterou jsme schopni změřit na dostupném zařízení.

Do každé jednotlivé koncentrační řady roztoků alginátu byla přidána povrchově aktivní látka (použili jsme tři druhy tensidů, lišící se svou ionogenitou) pro snížení povrchového napětí. Tenzid byl přidán v koncentracích:

1. v oblasti kritické micelární koncentrace tensidu v destilované vodě
2. 10g.l⁻¹
3. 20g.l⁻¹

Koncentrace tensidů byly zvoleny na základě pokusů, kdy při nízkých koncentracích tensidů jsme nedocílili tíženému zvýšení průniku roztoku alginátu do struktury textilie. Proto jsme zvolili takovéto koncentrace tensidů, kdy jsme již pozorovali zvýšení průniku roztoku alginátu do textilie.

Transport (vzlínání) roztoku alginátového zahušťovadla do textilie jsme sledovali nově navrženým postupem.

Využili jsme schopnosti roztoku zahušťovadla vzlínat do textilie. Na skleněnou tyčinku průměru $d = 9,1$ mm jsme navinuli pruh bavlněné tkaniny délky $a = 510$ mm, šířky $b = 40$ mm.



Obr. 36: Návin textilie po experimentu

Vybrali jsme právě jednu bavlněnou tkaninu ze čtyř testovaných. Kritérium výběru tkaniny byla hloubka průniku roztoku zahušťovadla do návinu. Čím více vrstvami roztok pronikl, tím vhodnější se jevila pro další experimenty.

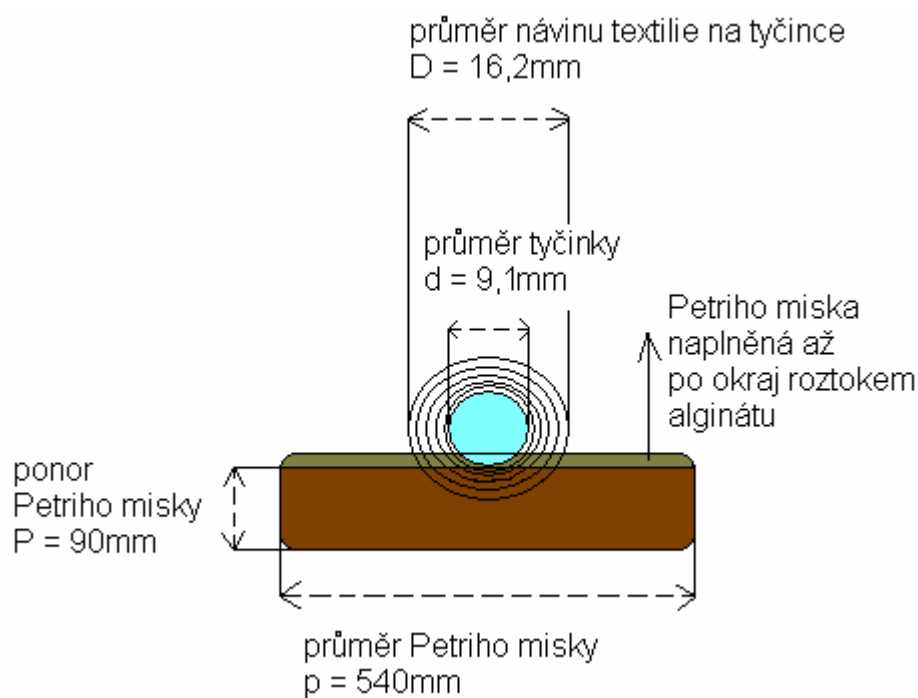
Návin jsme prováděli za pomoci závaží upevněného na konci textilie. Závaží o hmotnosti $m = 307,31$ g zajistilo návin definované tuhosti pro všechny vzorky a tím jsme dosáhli reprodukovatelnosti celého pokusu. Pruhy textilie byly vyžehlené.

Navinutou tkaninu na tyčince jsme zajistili reznou nití, aby nedošlo k jeho rozvinutí a povolení návínu. Takto připravené náviny bavlněné textilie jsou připravené pro měření.



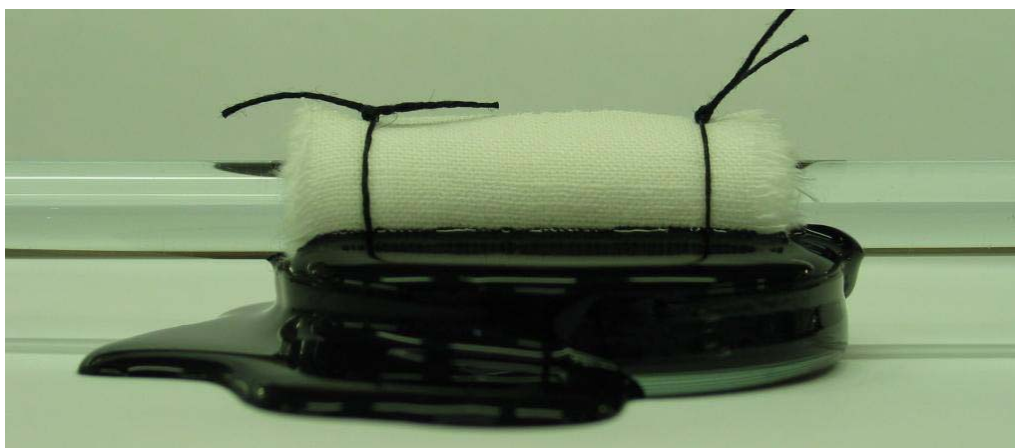
Obr. 37: Návin textilie na tyčince

Do Petriho misky o průměru $p = 54\text{mm}$ a ponoru $P = 9\text{mm}$ jsme nalili testovaný roztok, tak abychom misku zcela zaplnili.



Obr. 38: Znázornění experimentu

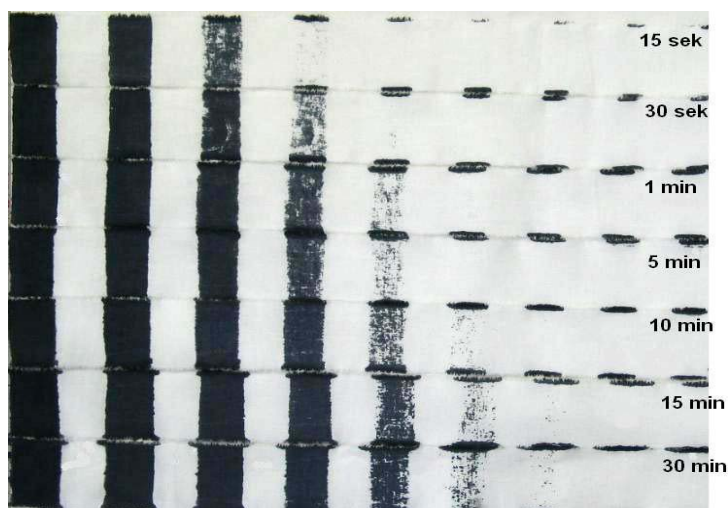
Navinutý pruh textilie na tyčince jsme položili na Petriho misku naplněnou sledovaným roztokem. Jelikož jsme Petriho misku naplnili záměrně po okraj, roztok lehce přetekl přes okraj. V těchto podmínkách jsme podrobili testu právě všechny vzorky, abychom docílili pokud možno největší reprodukovatelnosti pokusu.



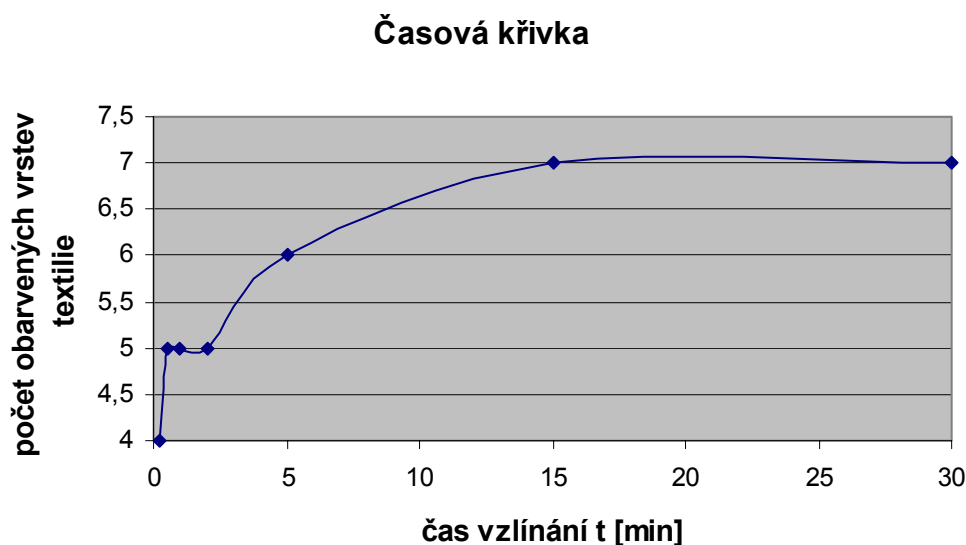
Obr. 39: Návin textilie položený na Petriho misce

Takto ponořený vzorek jsme nechali v Petriho misce jednu minutu pro všechna měření. Za tuto dobu dojde k optimálnímu a dostatečnému provzlínání roztoku zahušťovadla do textilie.

Po provedení časové křivky takového vzlínání jsme zjistili, že delší čas není potřebný a provzlínané plochy se již tolik nemění. Testovali jsme čas 0,25, 0,5, 1, 5, 10, 15, 30 minut.



Obr. 40: Časová závislost vzlínání roztoku alginátu do textile



Obr 41: Časová křivka vztlínání roztoku alginátu do textlie

Vzorek jsem poté rychle rozvinuli a dali usušit do sušárny. Pokus jsme provedli pro jednotlivé roztoky třikrát a spočetli průměr.

3.8.1 VYHODNOCENÍ VZORKŮ POMOCÍ OBRAZOVÉ ANALÝZY LUCIA A POČTU OBARVENÝCH VRSTEV TEXTILIE

Vzorky tkaniny jsme vyhodnotili dle dvou odlišných kritérií, které jsou vzájemně nepřepočitatelné a ukazují odlišné parametry .

Před vlastním vyhodnocením proběhla standardizace barevnosti snímků tak, aby nejsvětlejší oblasti snímku odpovídali zvolenému standardu.

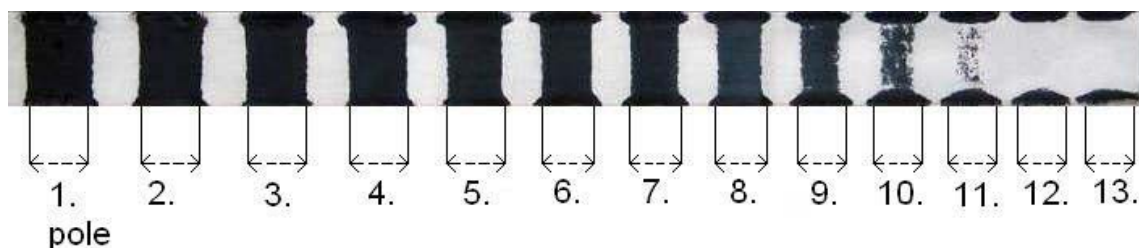
Vyhodnocení vzorků:

1. *podle počtu polí (vrstev), do kterých pronikl obarvený roztok alginátu (pro přehlednost v grafech dále uvedeno– počet obarvených vrstev textlie)*

Pokud je v poli pouze jediná milimetrová tečka obarveného roztoku alginátu, pole již považujeme jako pole, jímž prošel obarvený roztok alginátu a zahrnujeme jej do vyhodnocení.

Kritérium počtu polí, do kterých pronikl obarvený roztok alginátu ukazuje, jak hluboko navzlínal roztok alginátu do struktury návínu.

Jednotlivé náviny po rozbalení ukazují třináct polí (obr. 42).



Obr. 42: Návín s vyznačenými poli

Na obrázku jsou vyznačena jednotlivá pole. V tomto případě je hodnota počtu obarvených polí (vrstev) textilie jedenáct ze třinácti možných polí.

Pole = pořadové číslo vrstvy návínu textilie (1.pole – 1.vrstva návínu textilie)

2. podle dosaženého průniku (provzlínání) obarveného roztoku alginátu do struktury návínu hodnocený celkovým vjemem šedi – (pro přehlednost v grafech dále uvedeno – celkové množství barviva v návínu textilie)

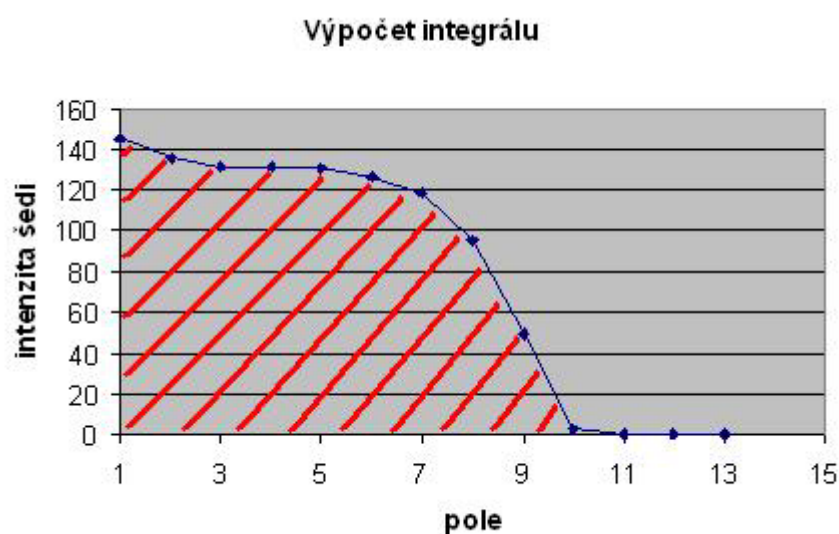
Usušené vzorky návínů jsme za definovaných podmínek nafotili. Pro vyhodnocení vzorků jsme použili obrazovou analýzu LUCIA G -Version 4.61, s jejíž pomocí jsme hodnotili střední stupeň šedi všech třinácti polí návínu.

Celkové množství barviva v návínu textilie ukazuje, kam až pronikl obarvený roztok alginátu. Za předpokladu neafinního chování soustavy, kdy se barvivo transportuje v soustavě alginát, destilovaná voda, barvivo, tenzid, jsme vyhodnotili průnik obarvené soustavy intenzitami šedi jednotlivých polí.

Celkové množství barviva v návínu textilie (*dosažený průnik (provzlínání) obarveného roztoku alginátu do struktury návínu hodnocený celkovým vjemem šedi*) bylo vypočteno pomocí integrálu z „intenzit šedi“ definované jako intenzita šedi pozadí minus intenzita šedi vzorku. „Intenzita šedi“ = celkový vjem šedi,

jak je dále uvedeno v 3D grafech, je přímo úměrná koncentraci barviva. Graficky: plocha pod modrou křivkou v grafu vyšrafovaná červeně (obr. 43).

Jednotky celkového množství barviva v návinu textilie jsou přímo úměrné skutečné koncentraci barviva v textili. Ale protože nebyla provedena kalibrace, nelze tento přepočet provést.

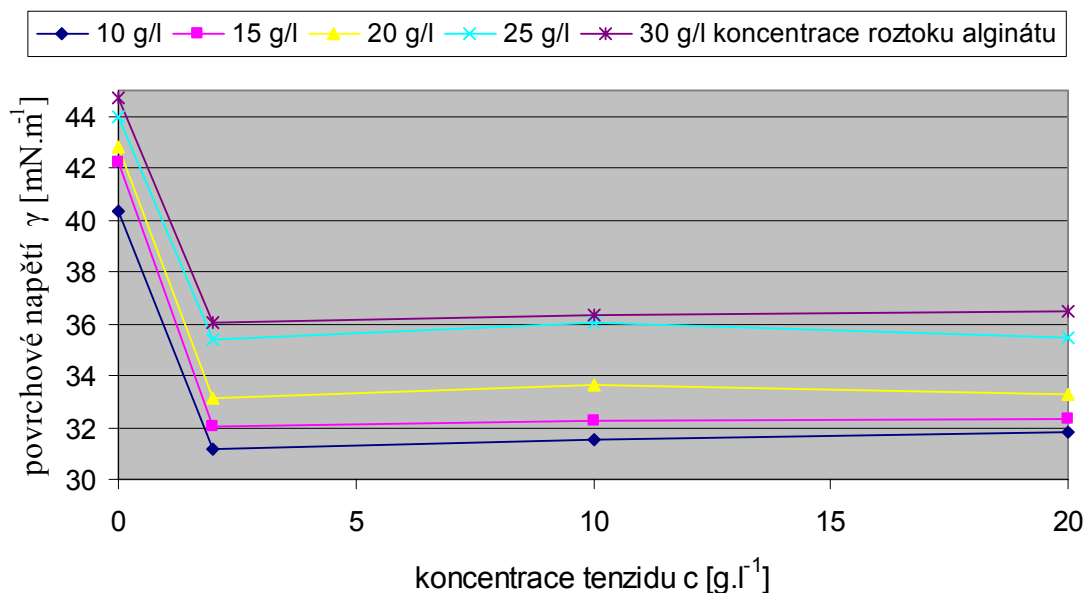


Obr. 43: Intenzity šedi jednotlivých polí

4 VÝSLEDKY

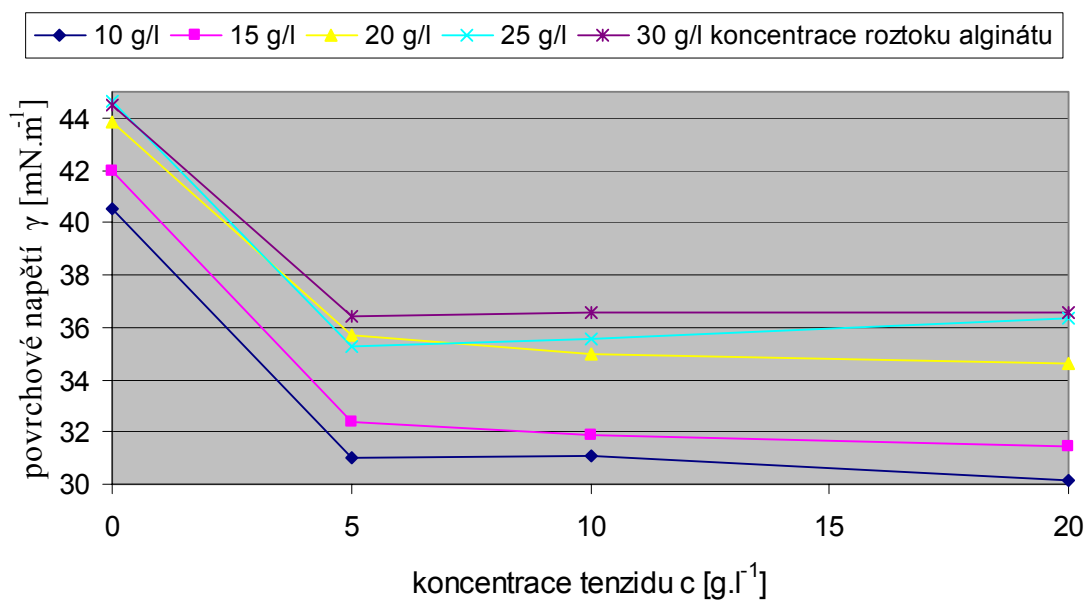
4.1 POVRCHOVÁ NAPĚTÍ SAMOTNÉHO ROZTOKU ZAHUŠŤOVADLA A PO PŘÍDAVKU TENZIDU

Abeson INA



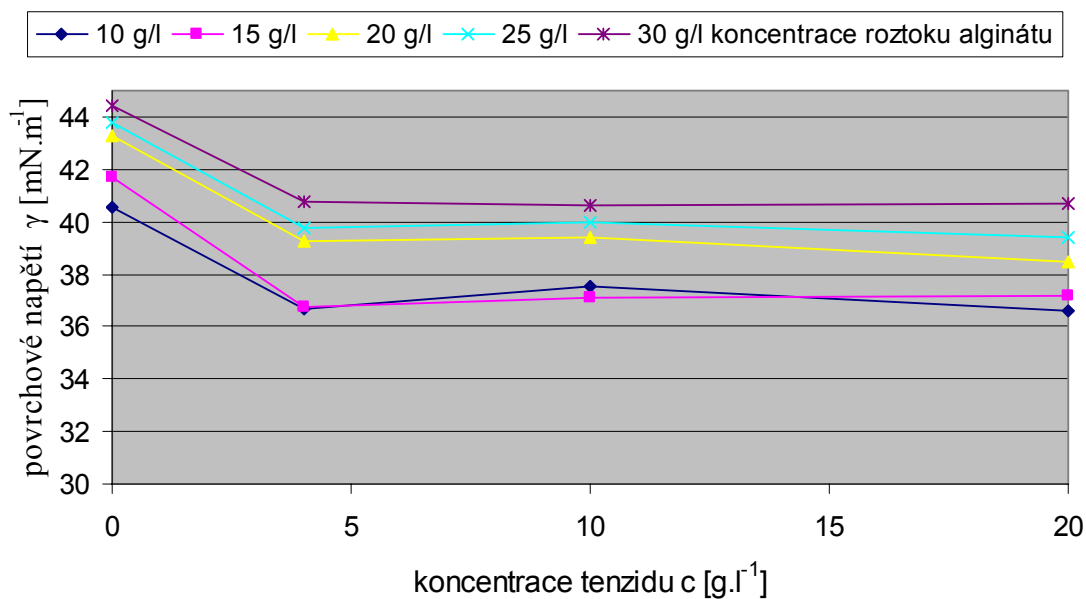
Obr. 44: Závislost povrchového napětí na koncentraci Abesonu INA pro různé koncentrace alginátů

Alfonal KD



Obr. 45: Závislost povrchového napětí na koncentraci Alfonalu KD pro různé koncentrace alginátů

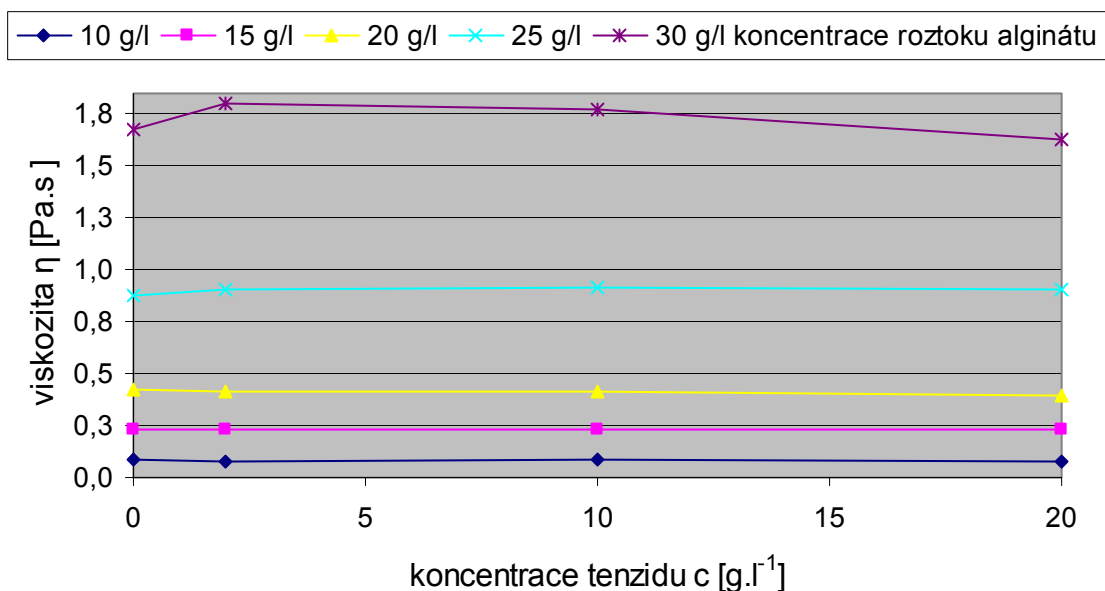
Flavol LDA



Obr. 46: Závislost povrchového napětí na koncentraci Flavolu LDA pro různé koncentrace alginátů

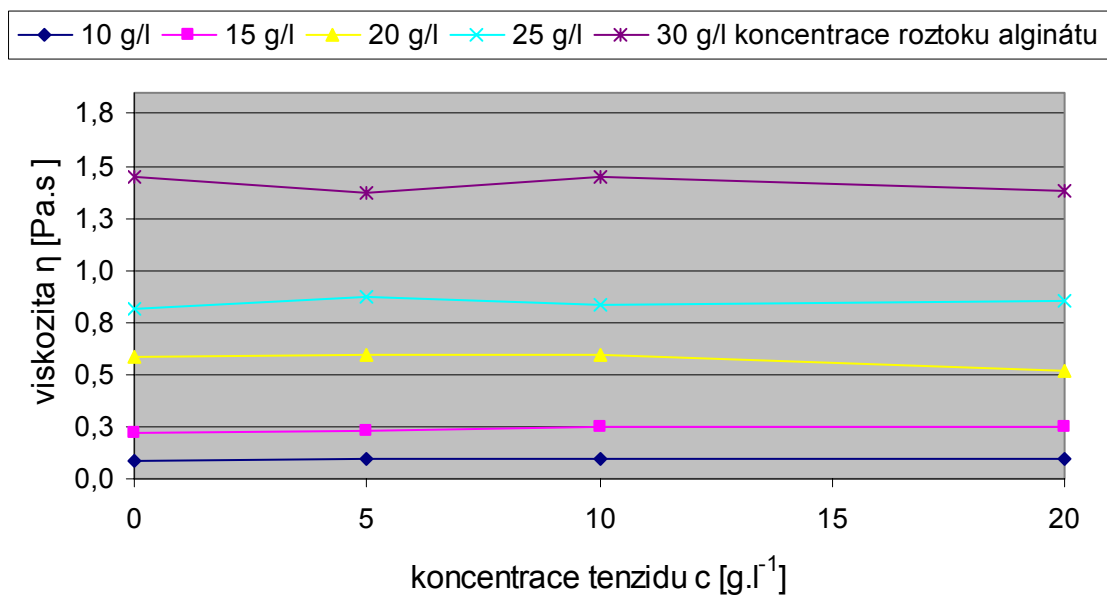
4.2 VIZKOZITY SAMOTNÉHO ROZTOKU ZAHUŠŤOVADLA A PO PŘÍDAVKU TENZIDU

Abeson INA



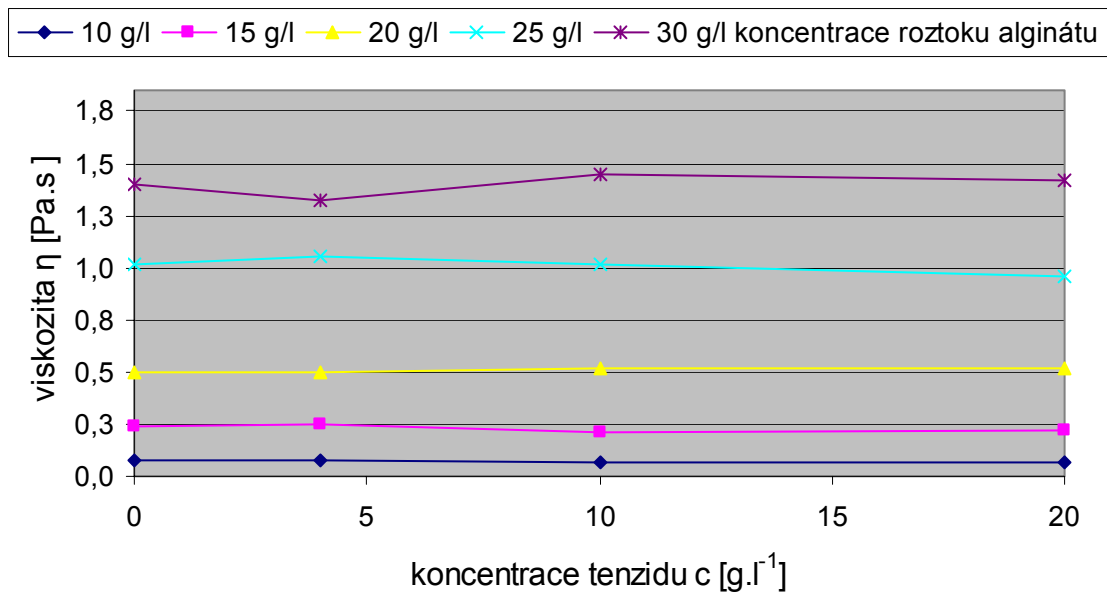
Obr. 47: Závislost viskozity na koncentraci Abesonu INA pro různé koncentrace alginátů

Alfonal KD



Obr.48: Závislost viskozity na koncentraci Alfonalu KD pro různé koncentrace alginátů

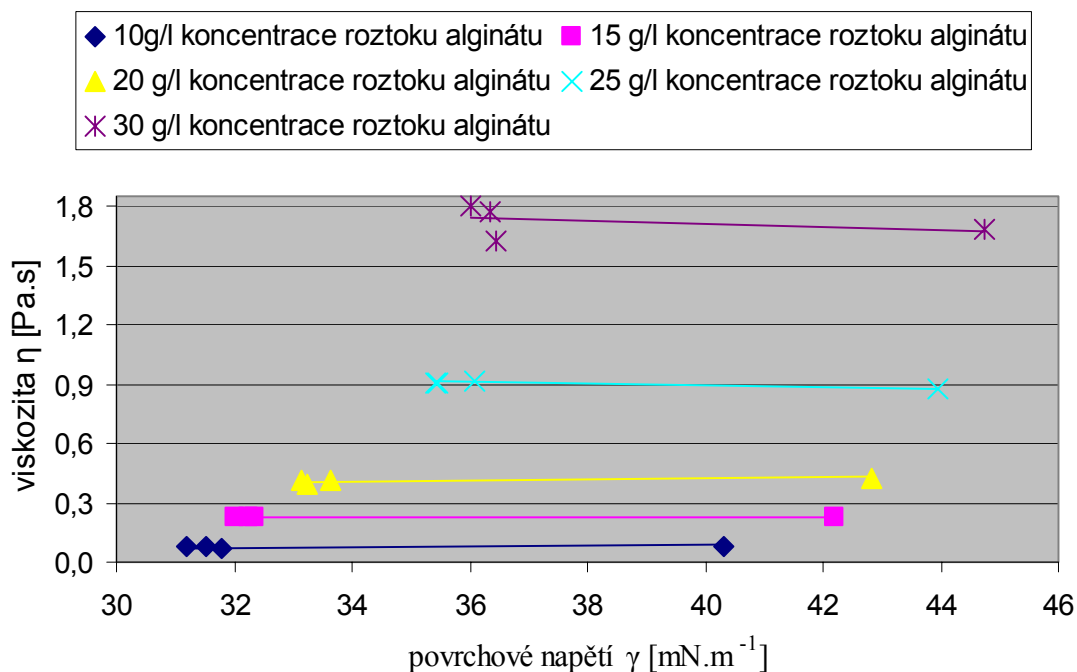
Flavol LDA



Obr. 49: Závislost viskozity na koncentraci Flavolu LDA pro různé koncentrace alginátů

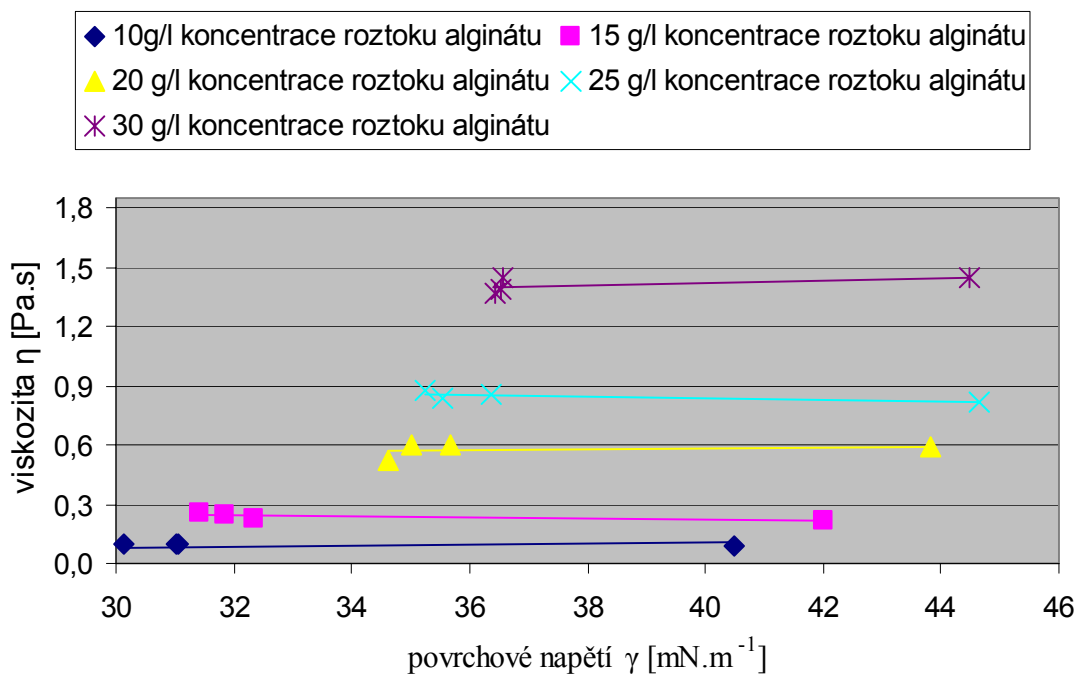
4.3 VZTAH VISKOZITY A POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ

Abeson INA



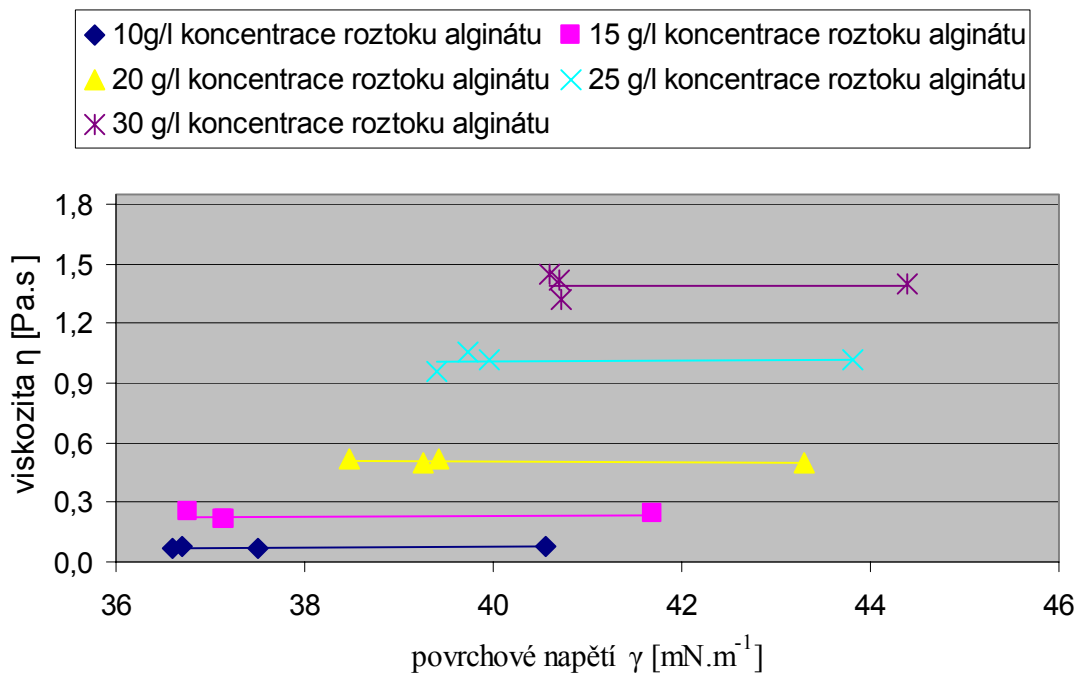
Obr. 50: Závislost viskozity na povrchovém napětí pro různé koncentrace alginátů s přidavkem Abesonu INA.

Alfonal KD



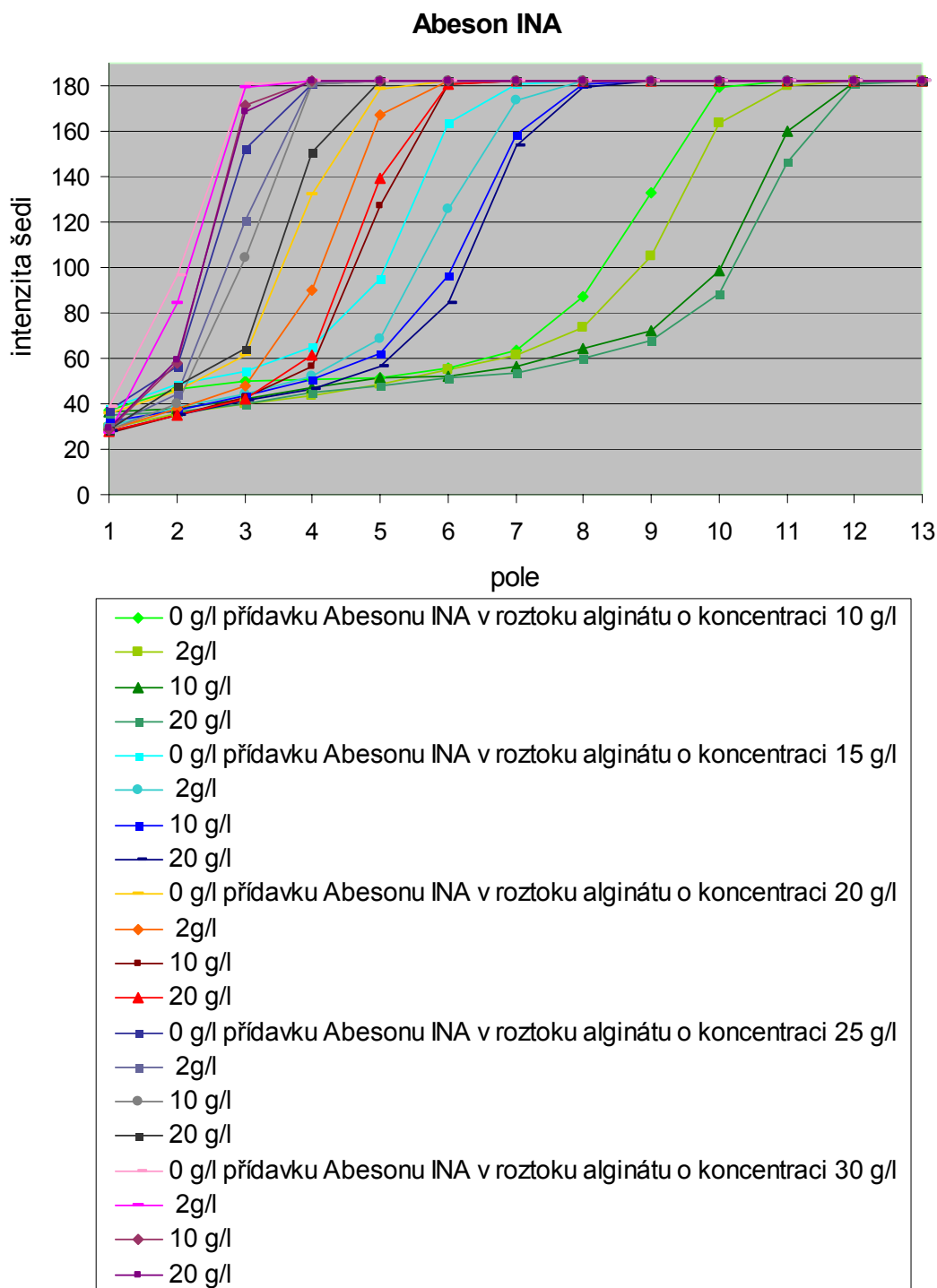
Obr. 51: Závislost viskozity na povrchovém napětí pro různé koncentrace alginátů s přidavkem Alfonalu KD.

Flavol LDA

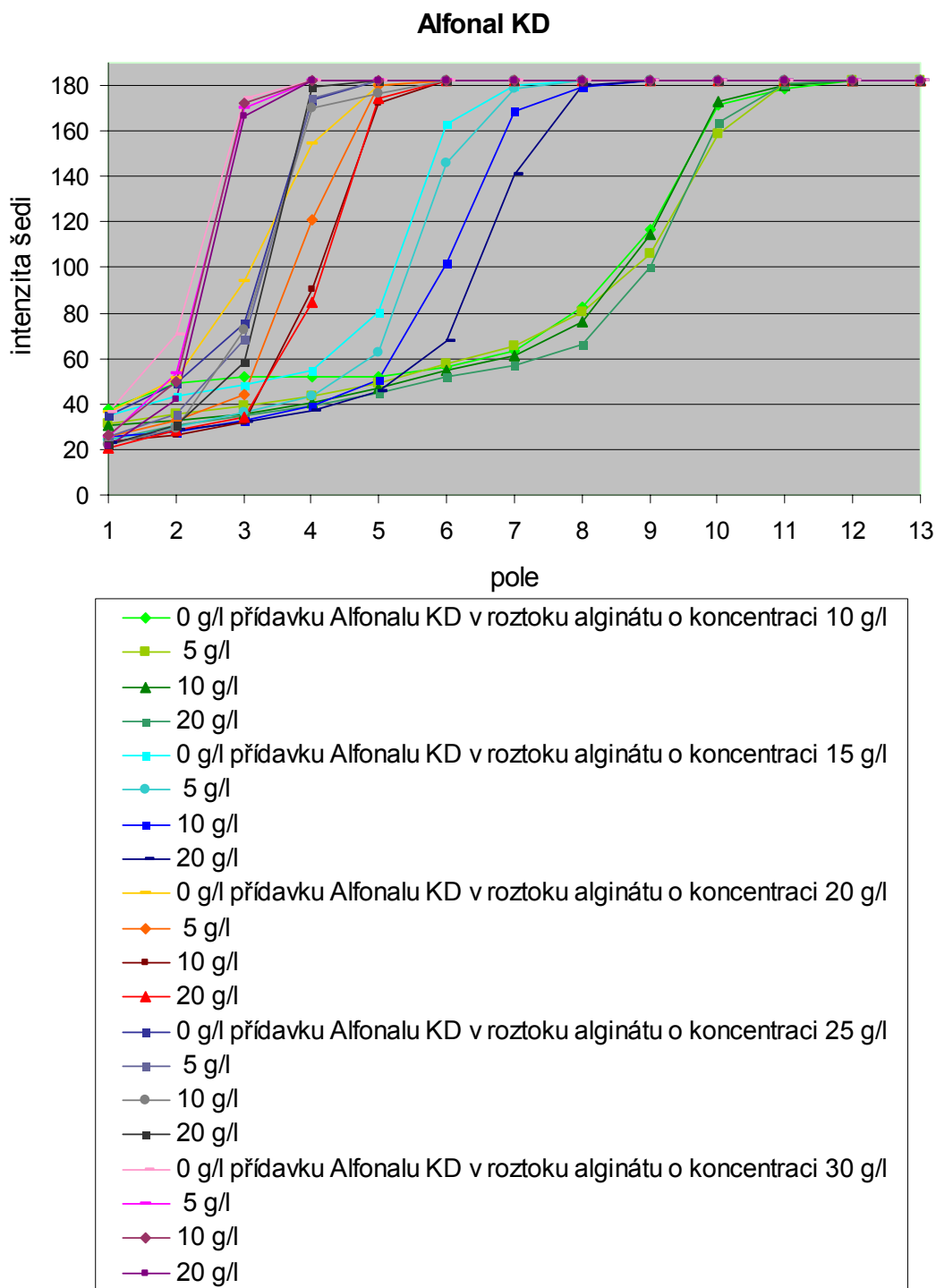


Obr. 52: Závislost viskozity na povrchovém napětí pro různé koncentrace alginátů s přidavkem Flavolu LDA.

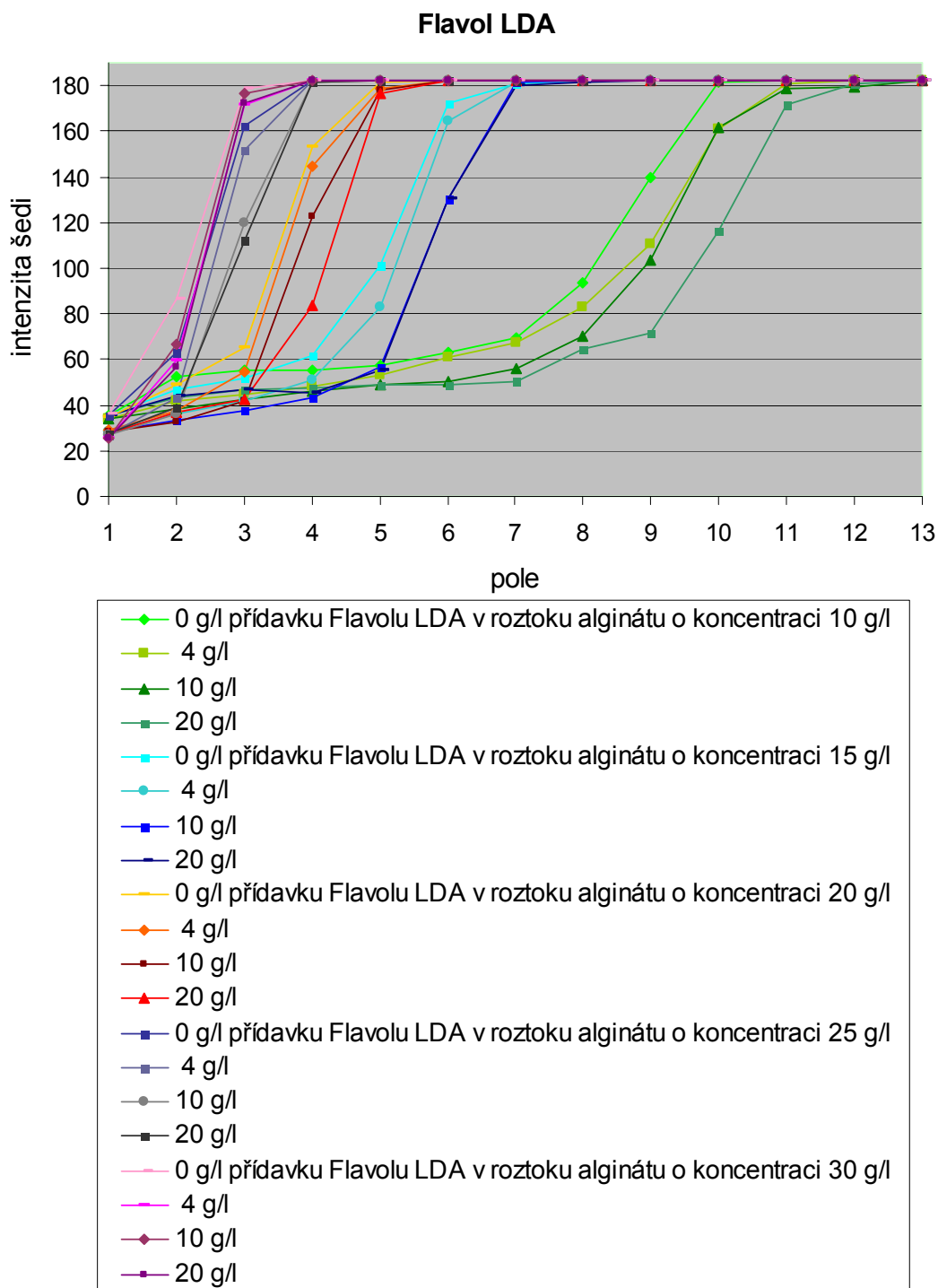
4.4 VYHODNOCENÍ DOSAŽENÉHO PRŮNIKU (PROVZLÍNÁNÍ) OBARVENÉHO ROZTOKU ALGINÁTU DO STRUKTURY TEXTILIE



Obr. 53: Průběhy křivek vyhodnocující intenzitu šedi v jednotlivých polích (vrstvách) návinu pro různé koncentrace alginátů s přídavkem Abesonu INA

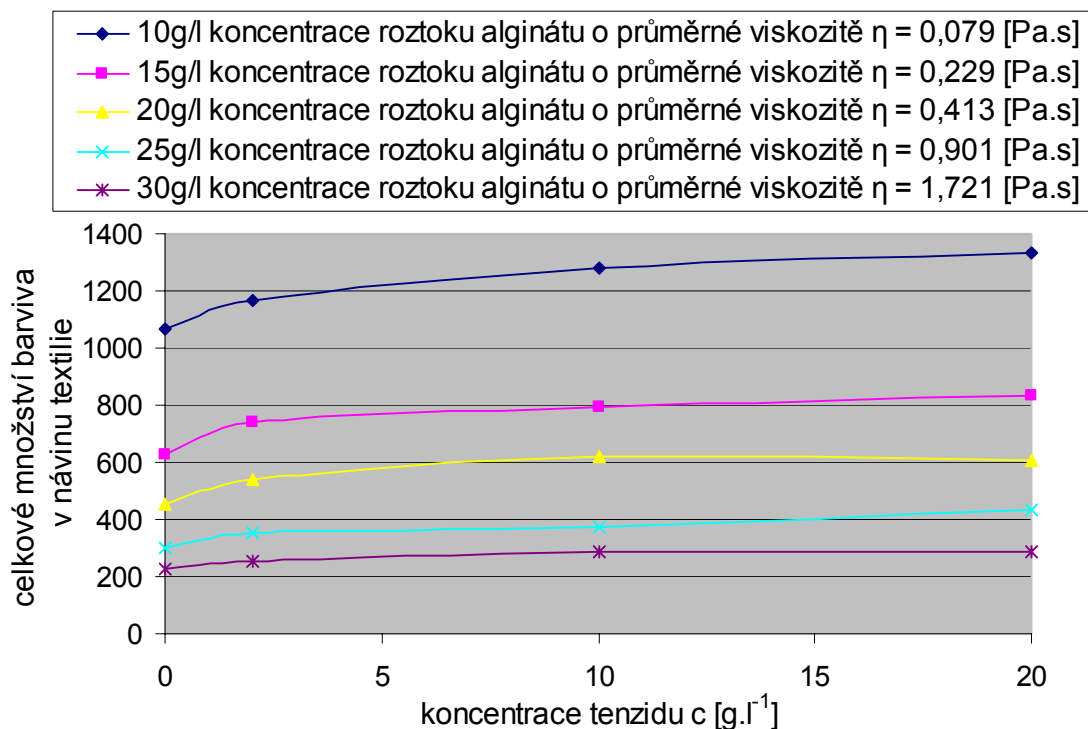


Obr. 54: Průběhy křivek vyhodnocující intenzitu šedi v jednotlivých polích (vrstvách) návinu pro různé koncentrace alginátů s přídavkem Alfonalu KD



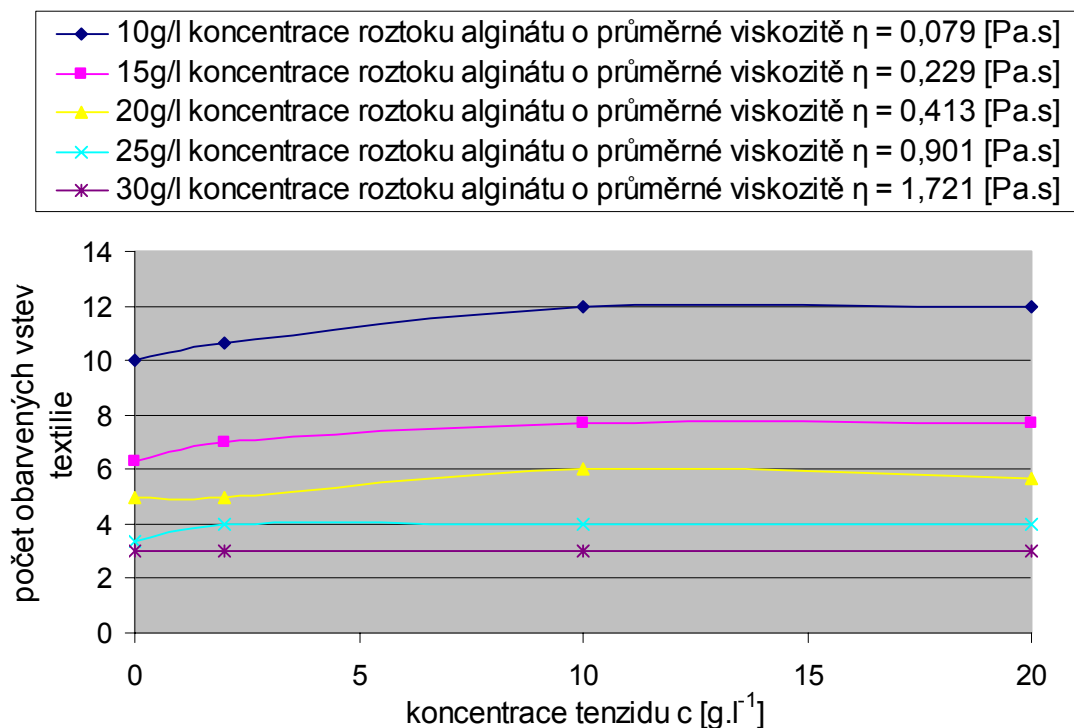
Obr. 55: Průběhy křivek vyhodnocující intenzitu šedi v jednotlivých polích (vrstvách) návinu pro různé koncentrace alginátů s přídavkem Flavolu LDA

Abeson INA



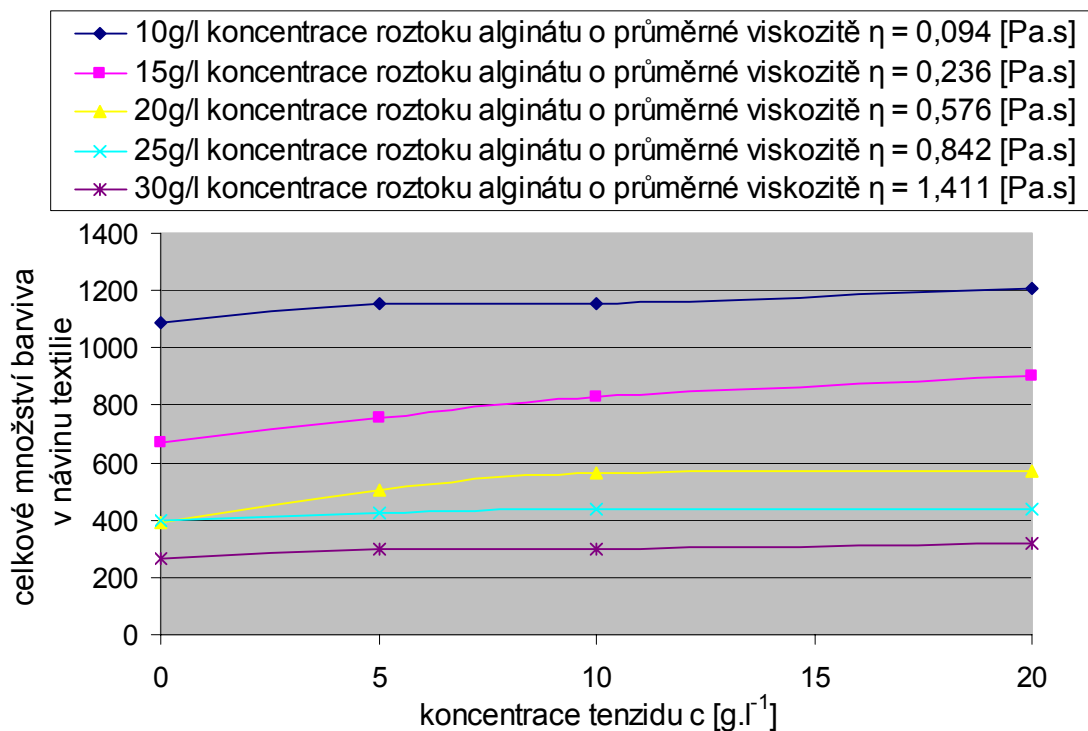
Obr. 56: Celkové množství barviva v návinu textilie v závislosti na koncentraci Abesonu INA

Abeson INA



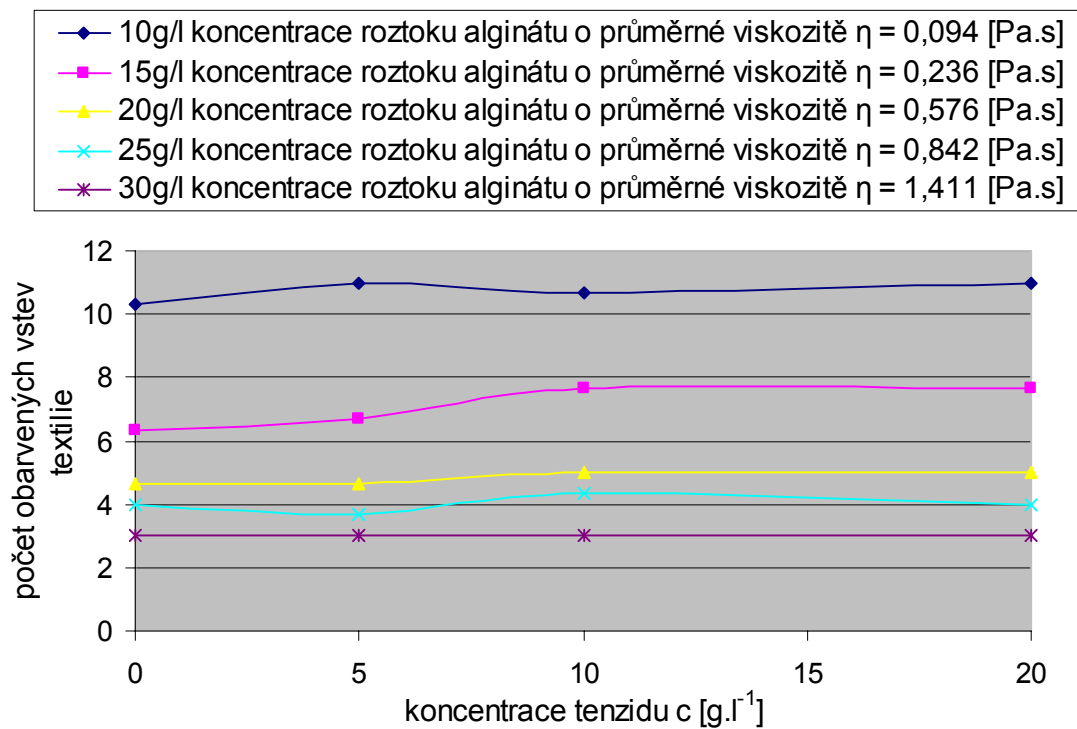
Obr. 57: Počet obarvených vrstev textilie v závislosti na koncentraci Abesonu INA

Alfonal KD



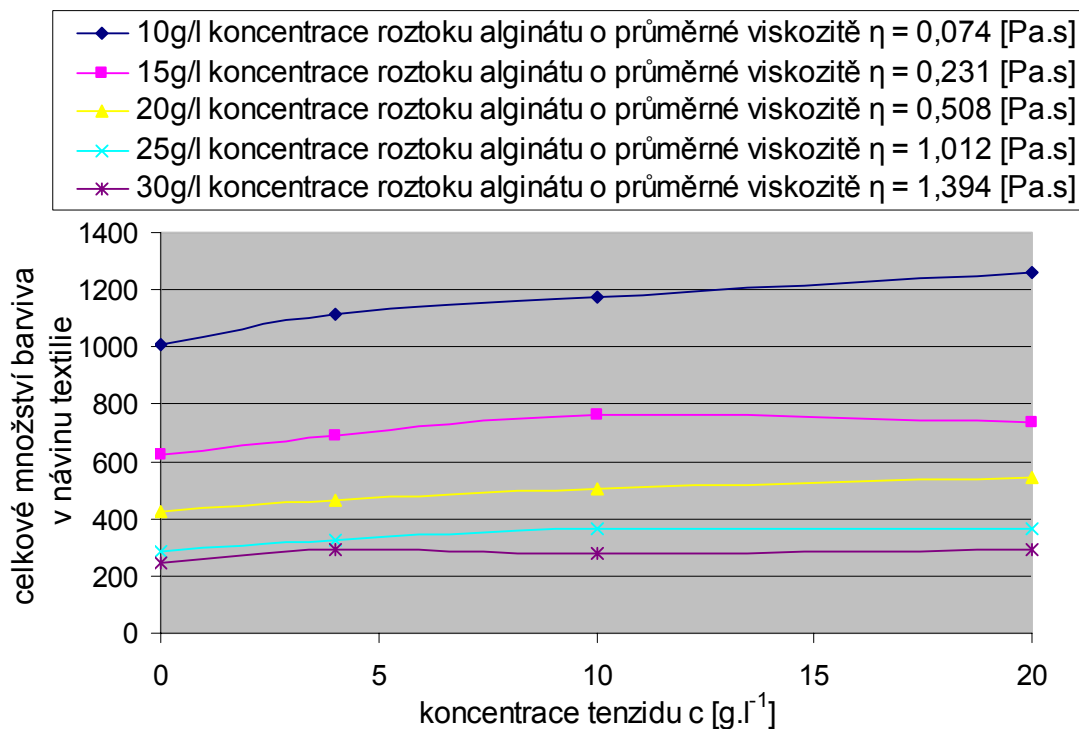
Obr. 58: Celkové množství barviva v návinu textílie v závislosti na koncentraci Alfonso KD

Alfonal KD



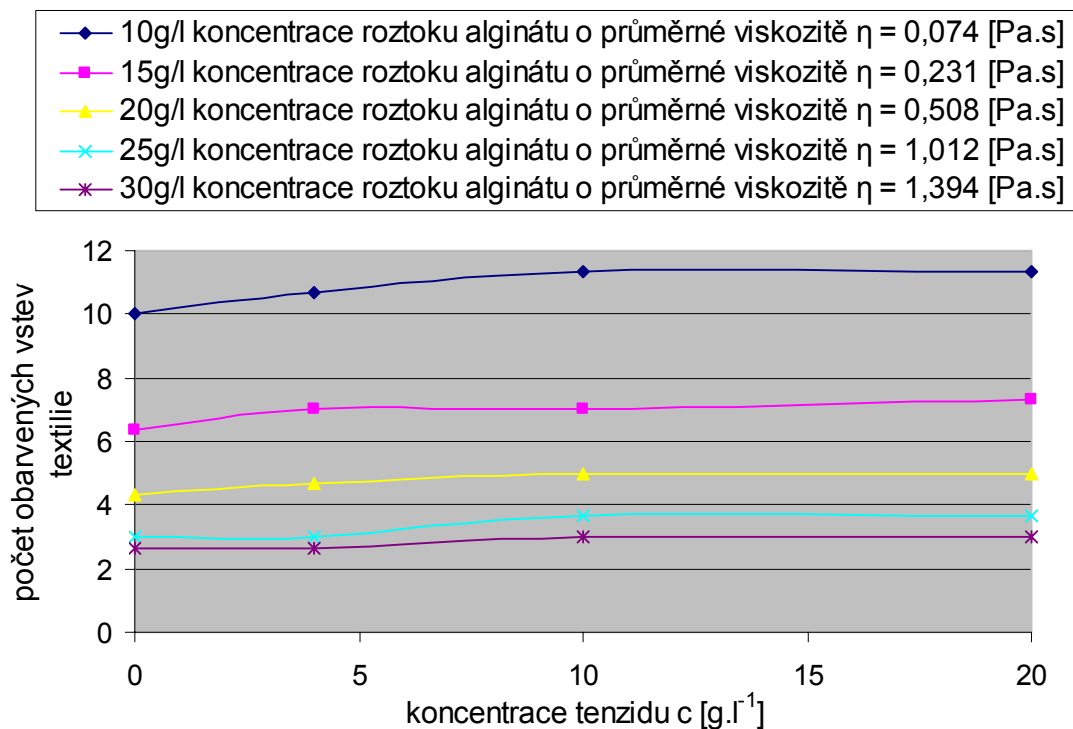
Obr. 59: Počet obarvených vrstev textílie v závislosti na koncentraci Alfonso KD

Flavol LDA



Obr. 60: Celkové množství barviva v návinu textilie v závislosti na koncentraci Flavolu LDA

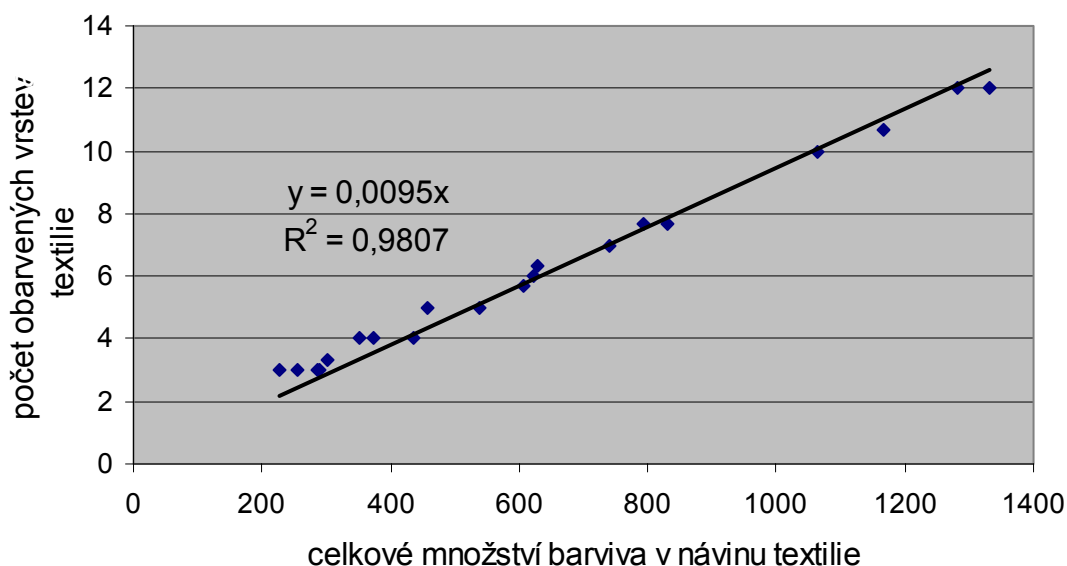
Flavol LDA



Obr. 61: Počet obarvených vrstev textilie v závislosti na koncentraci Flavolu LDA

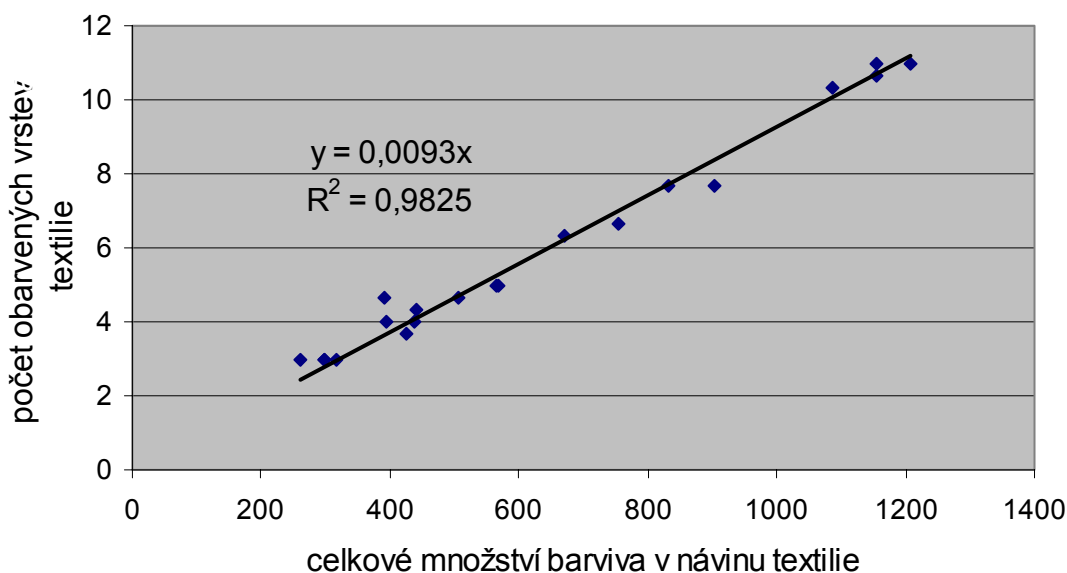
4.5 PŘEPOČÍTELNOST CELKOVÉHO MNOŽSTVÍ BARVIVA V NÁVINU TEXTILIE A POČTU OBARVENÝCH VRSTEV TEXTILIE

Abeson INA



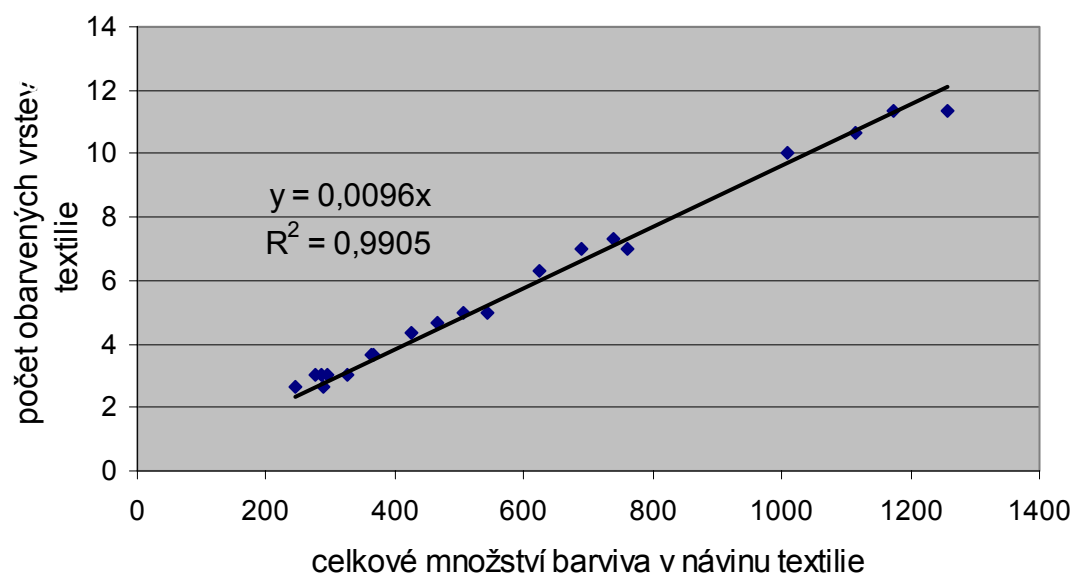
Obr. 62: Závislost počtu obarvených vrstev textilie na celkovém množství barviva v návinu textilie pro Abeson INA

Alfonal KD



Obr. 63: Závislost počtu obarvených vrstev textilie na celkovém množství barviva v návinu textilie pro Alfonal KD

Flavol LDA

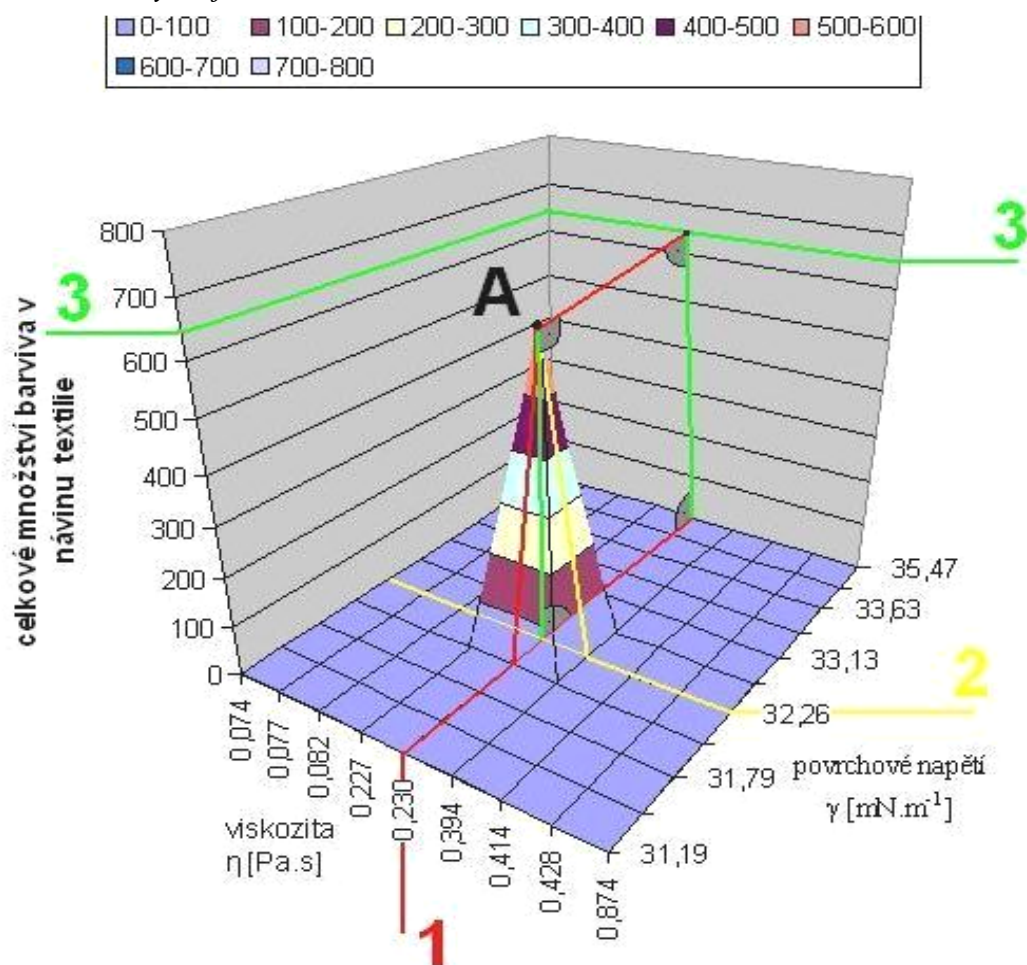


Obr. 64: Závislost počtu obarvených vrstev textilie na celkovém množství barviva v návinu textilie pro Flavol LDA

4.6 3D GRAFY ZNÁZORŇUJÍCÍ, KDY VISKOZITA POTLAČUJE VLIV POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ NA VZLÍNÁNÍ ROZTOKU ZAHUŠŤOVADLA DO STRUKTURY TEXTILIE

Příklad odečítání hodnot z 3D grafu:

Průnik (provzlínání) obarveného roztoku alginátu do struktury návinu hodnocený celkovým vjemem šedi – celkového množství barviva v návinu textilie:



Obr. 65: Závislosti viskozity, povrchového napětí na celkovém množství barviva v návinu textilie

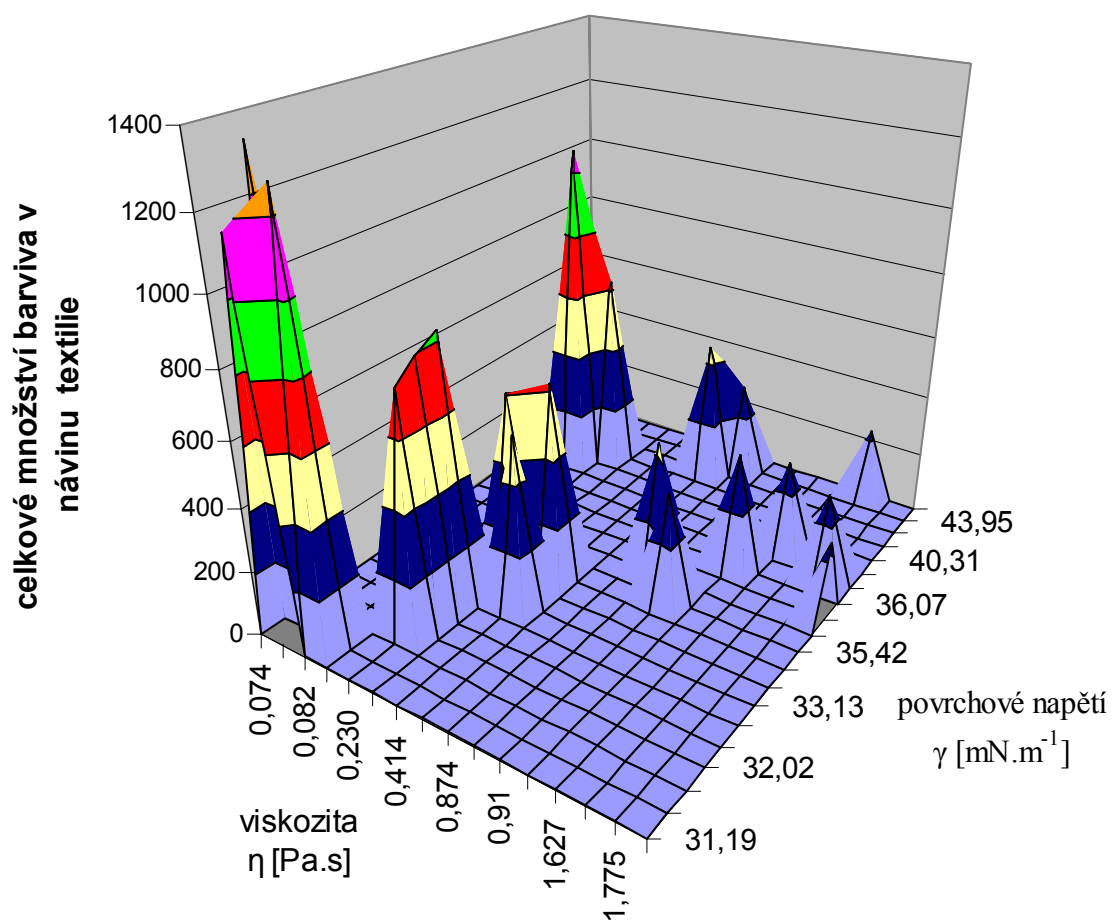
Příklad odečítání hodnot z 3D grafu (obr. 65) je ukázán na bodu A:

Z vrcholu bodu A vede izolinie viskozity (červená linie) až k hodnotě viskozity na ose viskozity – **1**. Izolinie povrchového napětí (žlutá linie) vede z vrcholu bodu A na osu povrchového napětí, kde odečteme hodnotu povrchového napětí – **2**. Na ose celkového množství barviva v návinu textilie odečteme celkové množství barviva v návinu textilie – **3** dle nákresu.

Abeson INA

Průnik (provzhlínání) obarveného roztoku alginátu do struktury návinu hodnocený celkovým vjemem šedi – celkového množství barviva v návinu textílie:

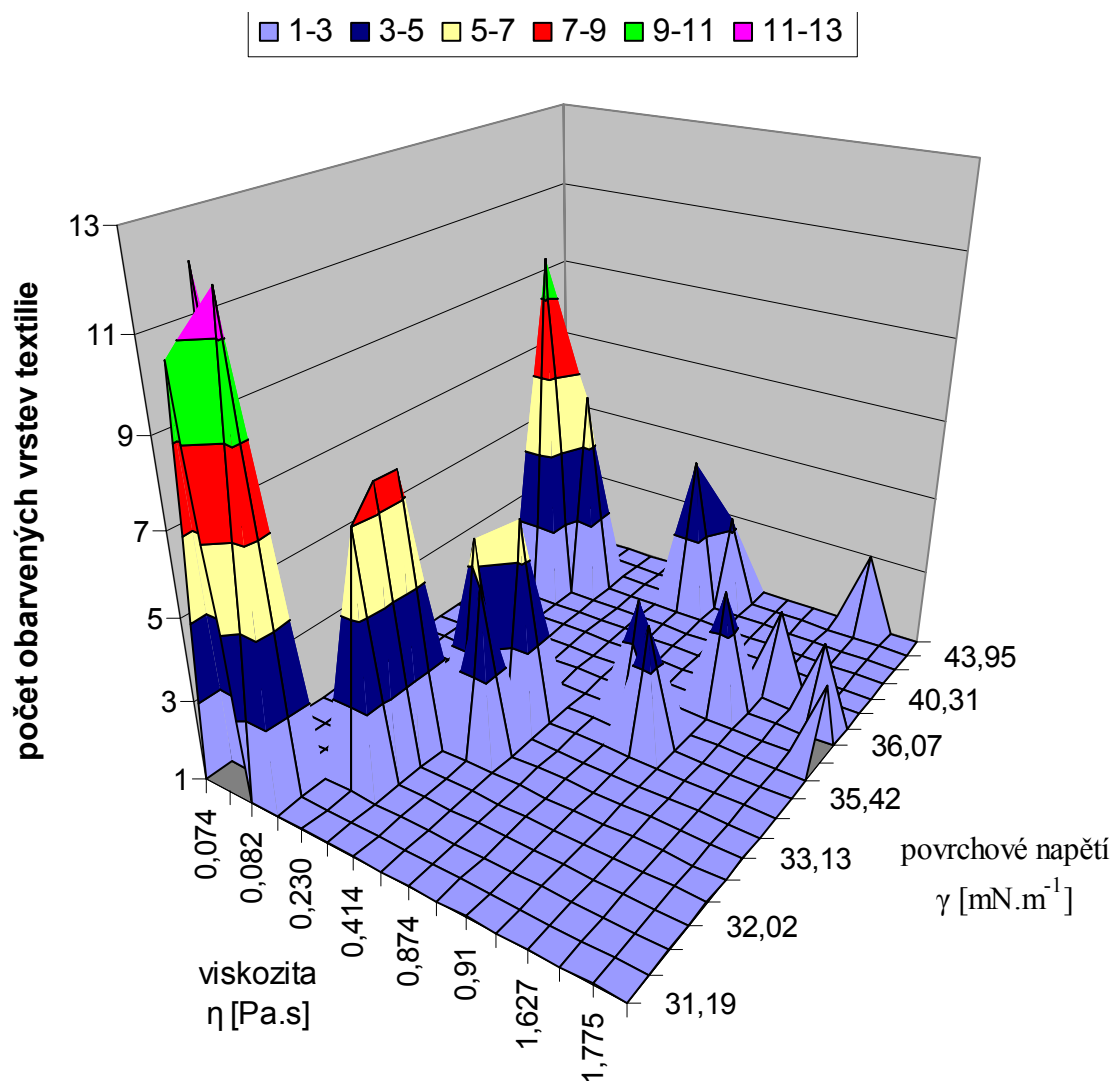
0-200 200-400 400-600 600-800 800-1000 1000-1200 1200-1400



Obr. 66: Závislost viskozity, povrchového napětí na celkovém množství barviva v návinu textílie (viz. obr. 73-77)

Abeson INA

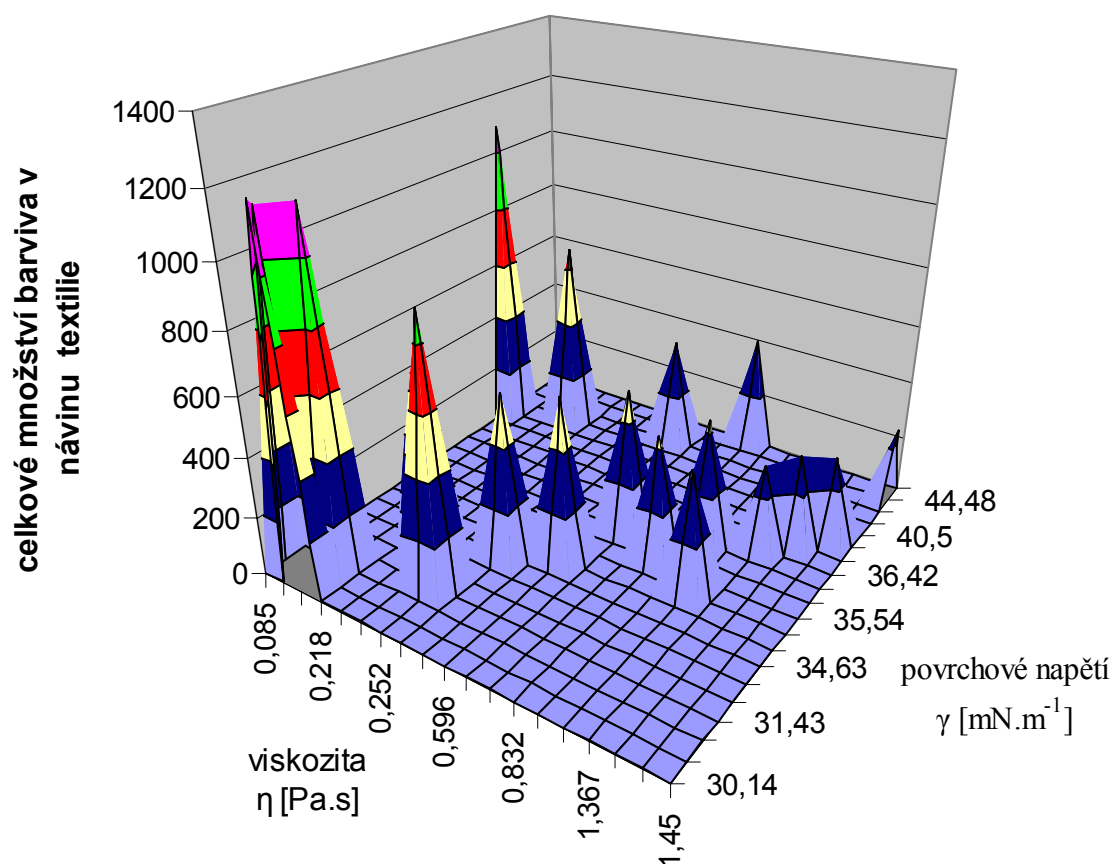
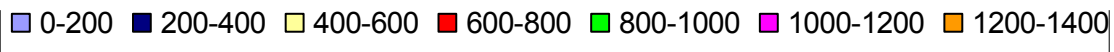
Počet polí (vrstev), do kterých pronikl obarvený roztok alginátu - počet obarvených (provztlínaných) vrstev textlie:



Obr. 67: Závislost viskozity, povrchového napětí na počtu obarvených (provztlínaných) vrstev textlie (viz. obr. 73-77)

Alfonal KD

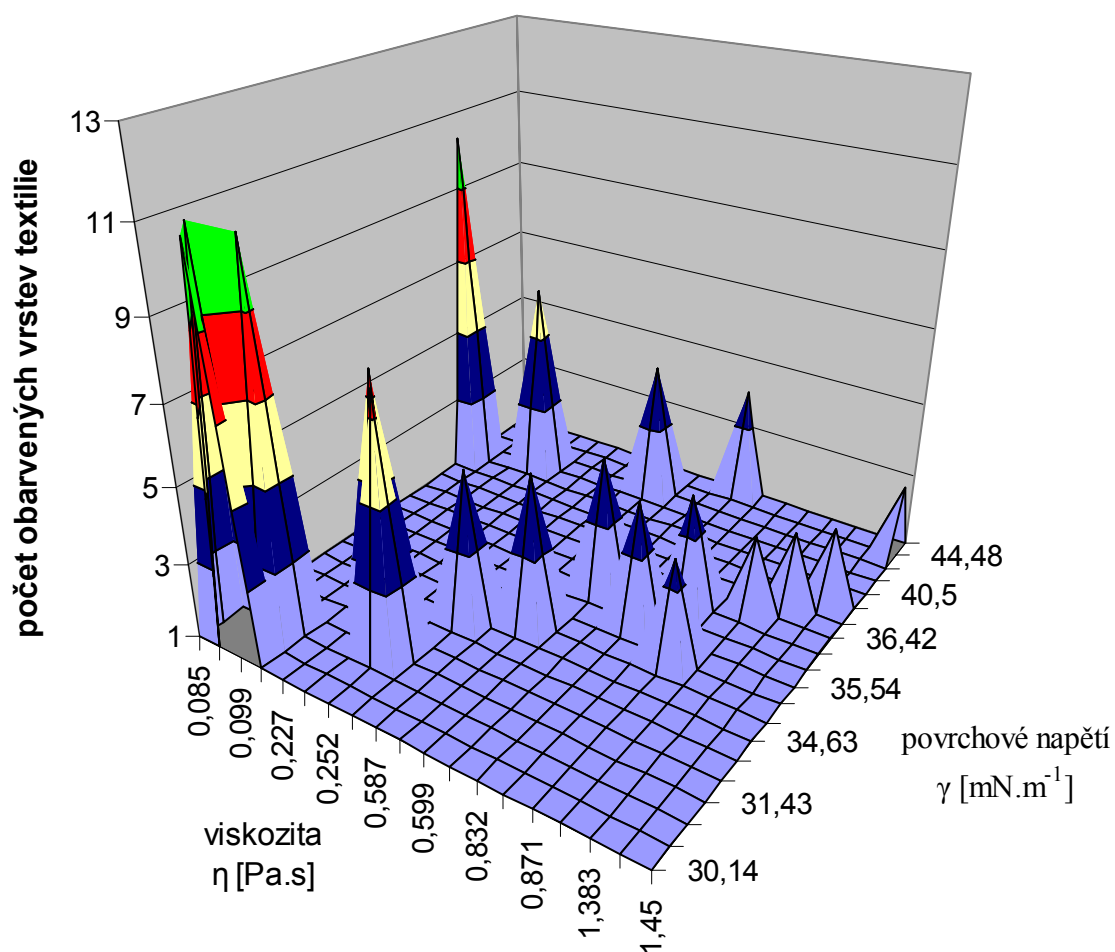
Průnik (provzlinání) obarveného roztoku alginátu do struktury návinu hodnocený celkovým vjemem šedi – celkového množství barviva v návinu textilie:



Obr. 68: Závislost viskozity, povrchového napětí na celkovém množství barviva v návinu textilie (viz. obr. 78-82)

Alfonal KD

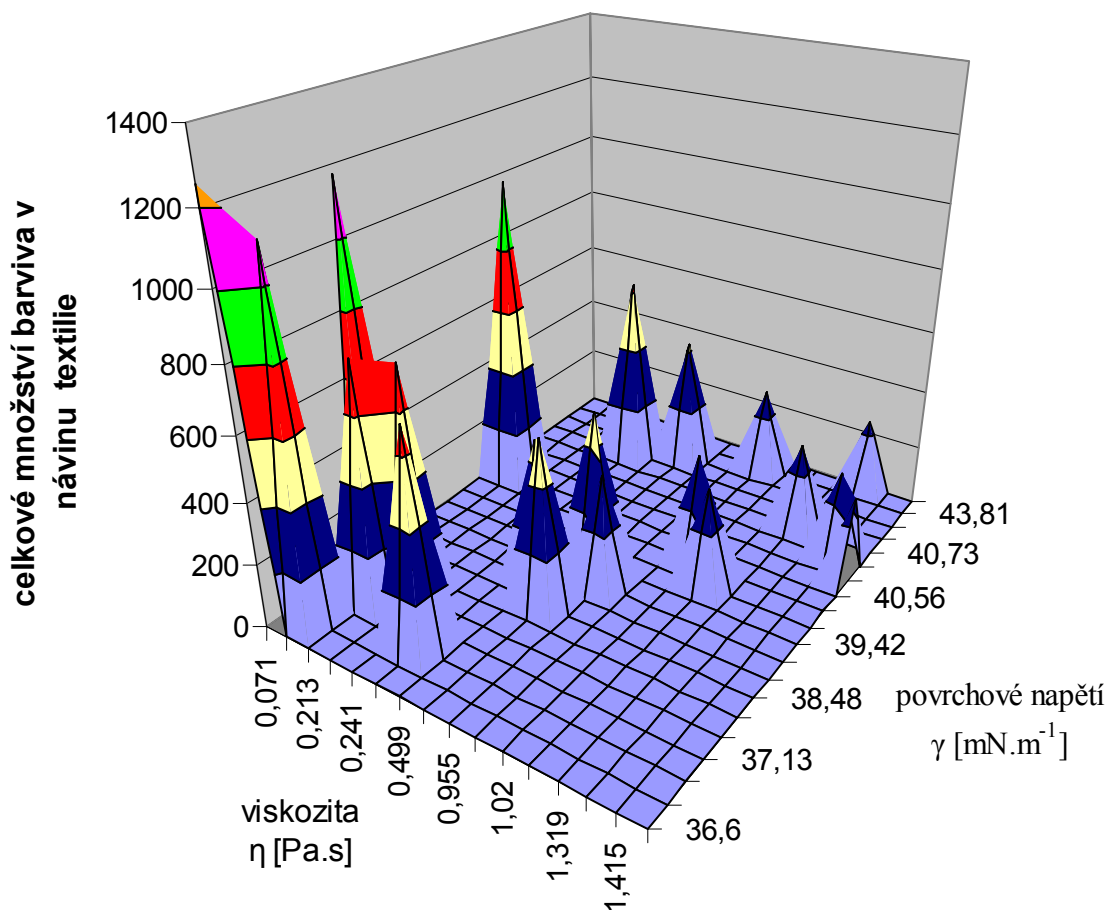
Počet polí (vrstev), do kterých pronikl obarvený roztok alginátu - počet obarvených (provztlínaných) vrstev textílie:



Obr. 69: Závislost viskozity, povrchového napětí na počtu obarvených (provztlínaných) vrstev textílie (viz. obr. 78-82)

Flavol LDA

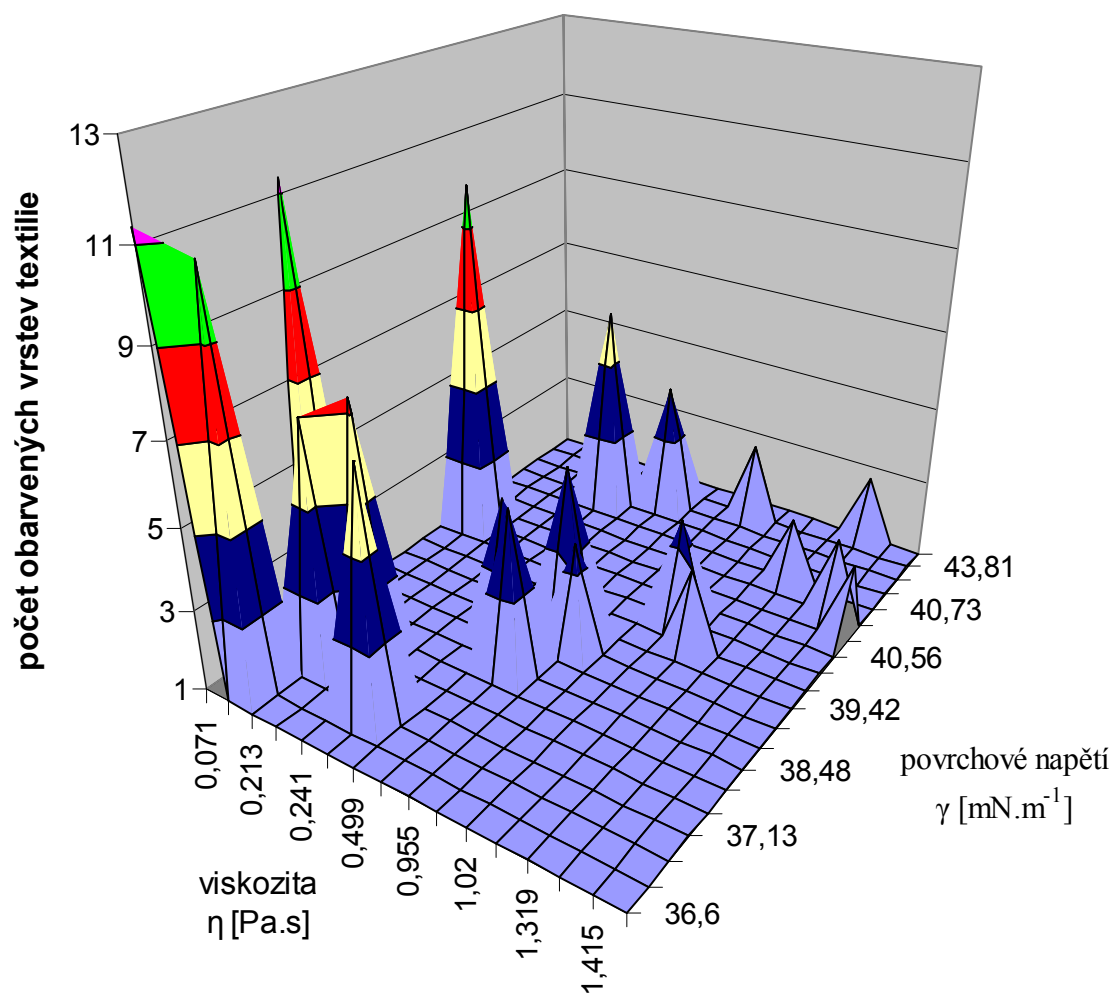
Průnik (provzlinání) obarveného roztoku alginátu do struktury návínu hodnocený celkovým vjemem šedi – celkového množství barviva v návínu textílie:



Obr. 70: Závislost viskozity, povrchového napětí na celkovém množství barviva v návínu textílie (viz. obr. 83-87)

Flavol LDA

Počet polí (vrstev), do kterých pronikl obarvený roztok alginátu - počet obarvených (provzlínaných) vrstev textilie:



Obr. 71: Závislost viskozity, povrchového napětí na počtu obarvených (provzlínaných) vrstev textilie (viz. obr. 83-87)

4.7 TABULKY NAMĚŘENÝCH A VYPOČÍTANÝCH HODNOT

Abeson INA

Tab. 1: Výsledná tabulka naměřených a vypočítaných hodnot Abesonu INA

koncentrace Printexu S 500 c [g.l⁻¹]	koncentrace použitého tenzidu c [g.l⁻¹]	povrchové napětí [mN.m⁻¹]	viskozita [Pa.s] měřená při D=89,18 [s⁻¹]	celkové množství barviva v návínu textilie	počet obarvených vrstev textilie
10	0	40,31	0,082	1065,22	10
	2	31,19	0,077	1166,30	10,67
	10	31,51	0,082	1282,95	12
	20	31,79	0,074	1331,63	12
15	0	42,2	0,227	628,05	6,33
	2	32,02	0,23	740,30	7
	10	32,26	0,23	794,66	7,67
	20	32,35	0,23	831,64	7,67
20	0	42,84	0,428	456,04	5
	2	33,13	0,414	539,10	5
	10	33,63	0,414	621,89	6
	20	33,25	0,394	605,55	5,67
25	0	43,95	0,874	301,70	3,33
	2	35,42	0,91	351,49	4
	10	36,07	0,911	373,91	4
	20	35,47	0,908	436,36	4
30	0	44,73	1,679	227,17	3
	2	36,01	1,801	255,56	3
	10	36,34	1,775	287,51	3
	20	36,46	1,627	288,63	3

Alfonal KD

Tab. 2: Výsledná tabulka naměřených a vypočítaných hodnot Alfonalu KD

koncentrace Printexu S 500 c [g.l⁻¹]	koncentrace použitého tenzidu c [g.l⁻¹]	povrchové napětí [mN.m⁻¹]	viskozita [Pa.s] měřená při D=89,18 [s⁻¹]	<i>celkové množství barviva v návinu textilie</i>	<i>počet obarvených vrstev textilie</i>
10	0	40,5	0,085	1086,08	10,33
	5	31,01	0,094	1154,36	11
	10	31,07	0,099	1155,45	10,67
	20	30,14	0,099	1208,04	11
15	0	42	0,218	669,61	6,33
	5	32,35	0,227	753,12	6,67
	10	31,84	0,247	830,92	7,67
	20	31,43	0,252	902,31	7,67
20	0	43,83	0,587	391,53	4,67
	5	35,68	0,599	505,89	4,67
	10	35,01	0,596	565,46	5
	20	34,63	0,520	568,10	5
25	0	44,65	0,813	395,40	4
	5	35,24	0,871	424,69	3,67
	10	35,54	0,832	439,62	4,33
	20	36,38	0,852	437,65	4
30	0	44,48	1,45	262,10	3
	5	36,42	1,367	296,64	3
	10	36,58	1,444	297,87	3
	20	36,54	1,383	316,34	3

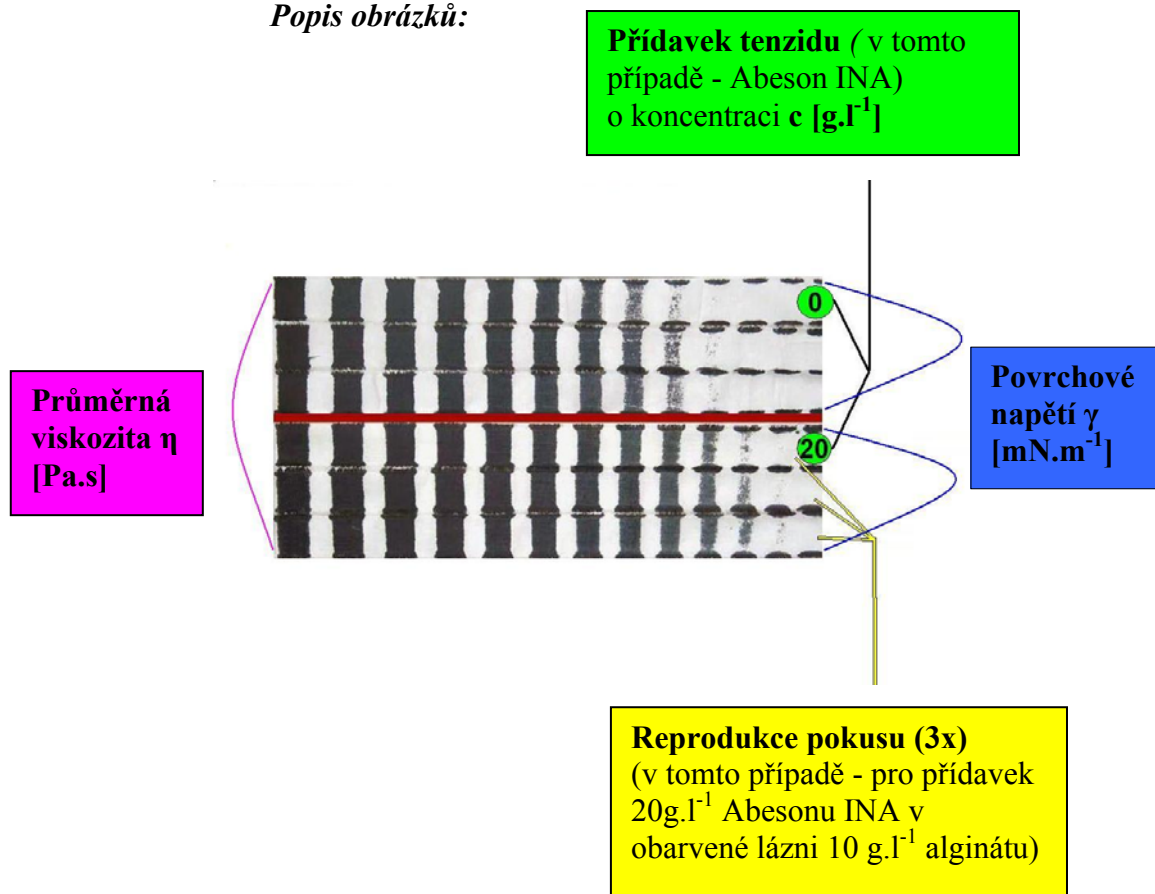
Flavol LDA

Tab. 3: Výsledná tabulka naměřených a vypočítaných hodnot Flavolu LDA

koncentrace Printexu S 500 c [g.l⁻¹]	koncentrace použitého tenzidu c [g.l⁻¹]	povrchové napětí [mN.m⁻¹]	viskozita [Pa.s] měřená při D=89,18 [s⁻¹]	<i>celkové množství barviva v návínu textilie</i>	<i>počet obarvených vrstev textilie</i>
10	0	40,56	0,077	1008,72	10
	4	36,71	0,077	1115,41	10,67
	10	37,51	0,071	1174,25	11,33
	20	36,6	0,071	1258,41	11,33
15	0	41,69	0,241	624,48	6,33
	4	36,76	0,25	688,46	7
	10	37,13	0,213	762,08	7
	20	37,15	0,218	737,37	7,33
20	0	43,3	0,499	426,68	4,33
	4	39,26	0,499	465,46	4,67
	10	39,42	0,516	506,56	5
	20	38,48	0,516	541,86	5
25	0	43,81	1,018	284,48	3
	4	39,73	1,055	324,47	3
	10	39,95	1,02	363,51	3,67
	20	39,4	0,955	367,51	3,67
30	0	44,39	1,395	244,41	2,67
	4	40,73	1,319	289,41	2,67
	10	40,59	1,447	276,86	3
	20	40,71	1,415	293,97	3

4.8 OBRÁZKY

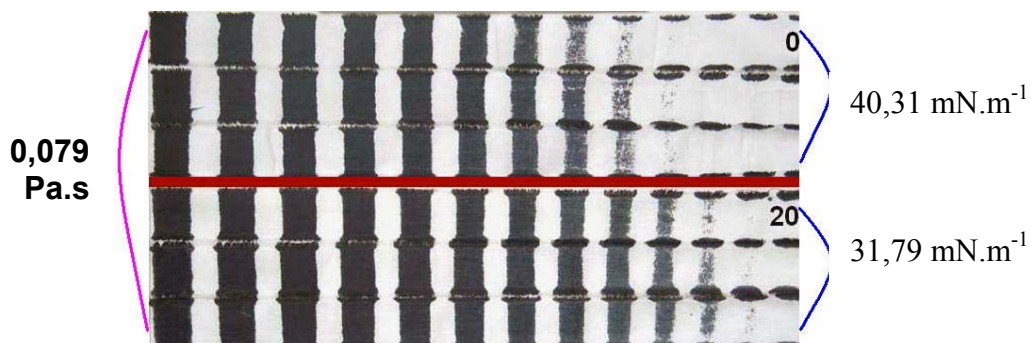
Popis obrázků:



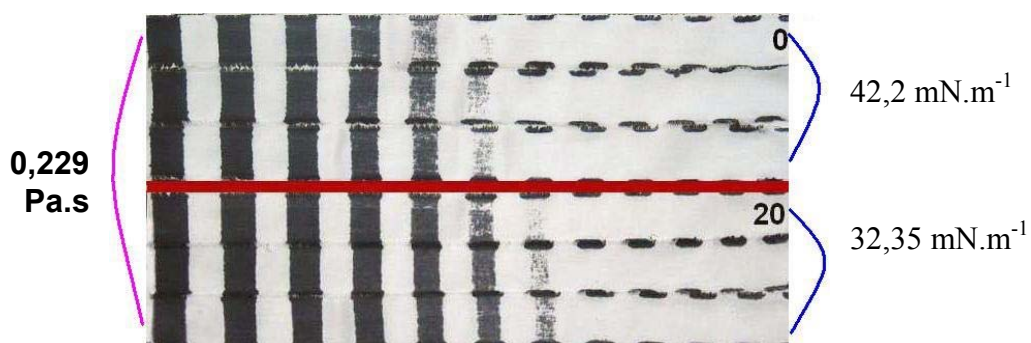
Obr. 72: Vztlínání obarvené lázně do náviny bavlněné textilie, která obsahovala 10 g.l^{-1} roztoku alginátu s přídavkem 0 a 20 g.l^{-1} Abesonu INA.

Popis obr. 72 : Obrázek znázorňuje, jak navzlínala obarvená lázeň s obsahem 10 g.l^{-1} alginátu do náviny bavlněné textilie. Červená linie odděluje náviny v závislosti na koncentraci použitého tenzidu. V tomto případě byl použit *Abeson INA o koncentraci 0 a 20 g.l^{-1}* (1.část - 0 g.l^{-1} , 2.část - 20 g.l^{-1} přídavku tenzidu). V každé červeně oddělené části jsou znázorněny tři rozvinuté náviny, neboť byla provedena reprodukce pokusu 3krát.

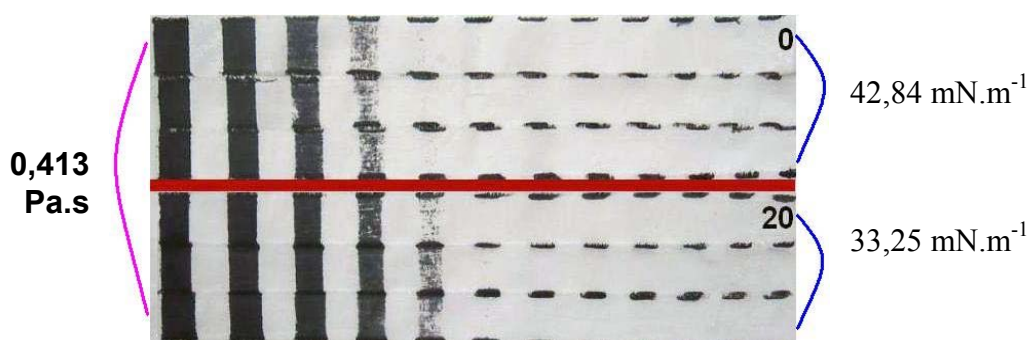
4.8.1 VZLÍNÁNÍ OBARVENÉHO ROZTOKU ALGINÁTU S PŘÍDAVKEM ABESONU INA



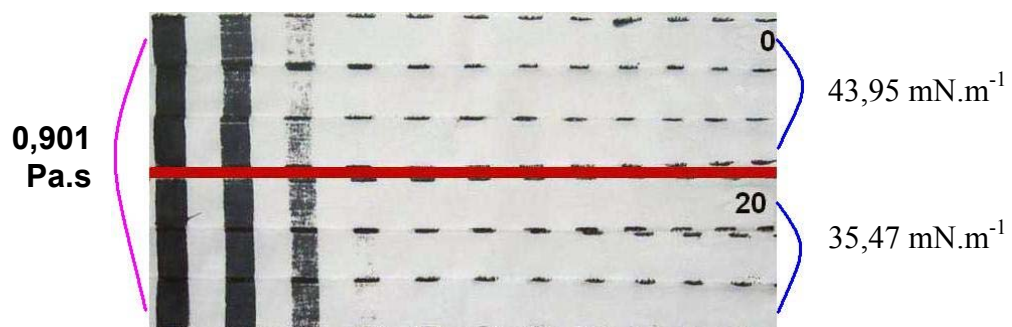
Obr. 73: Vztlínání obarvené lázně do návlnu bavlněné textilie, která obsahovala 10 g.l^{-1} roztoku alginátu s přídavkem 0 a 20 g.l^{-1} Abesonu INA.



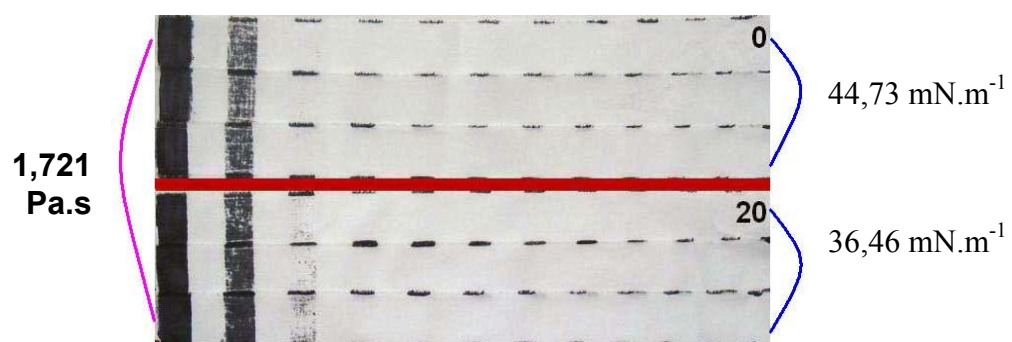
Obr. 74: Vztlínání obarvené lázně do návlnu bavlněné textilie, která obsahovala 15 g.l^{-1} roztoku alginátu s přídavkem 0 a 20 g.l^{-1} Abesonu INA.



Obr. 75: Vztlínání obarvené lázně do návlnu bavlněné textilie, která obsahovala 20 g.l^{-1} roztoku alginátu s přídavkem 0 a 20 g.l^{-1} Abesonu INA.

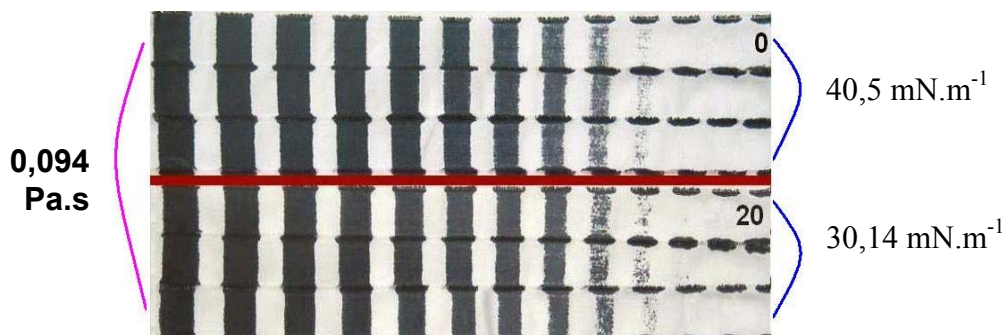


Obr. 76: Vztlínání obarvené lázně do návinnu bavlněné textilie, která obsahovala 25 g.l^{-1} roztoku alginátu s přidavkem 0 a 20 g.l^{-1} Abesonu INA.

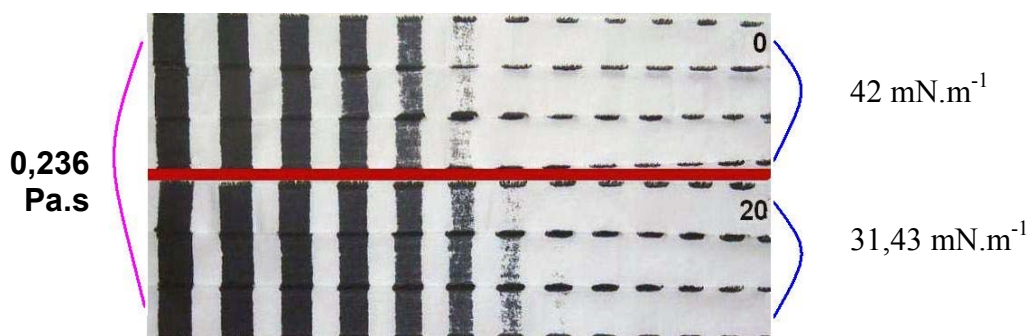


Obr. 77: Vztlínání obarvené lázně do návinnu bavlněné textilie, která obsahovala 30 g.l^{-1} roztoku alginátu s přidavkem 0 a 20 g.l^{-1} Abesonu INA.

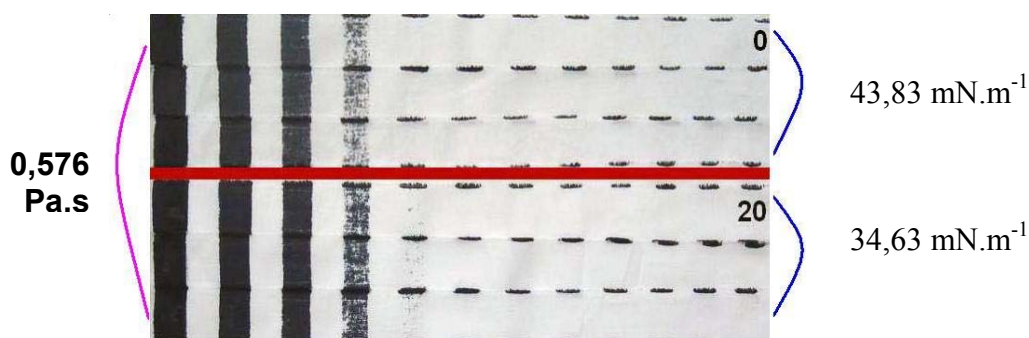
4.8.2 VZLÍNÁNÍ OBARVENÉHO ROZTOKU ALGINÁTU S PŘÍDAVKEM ALFONALU KD



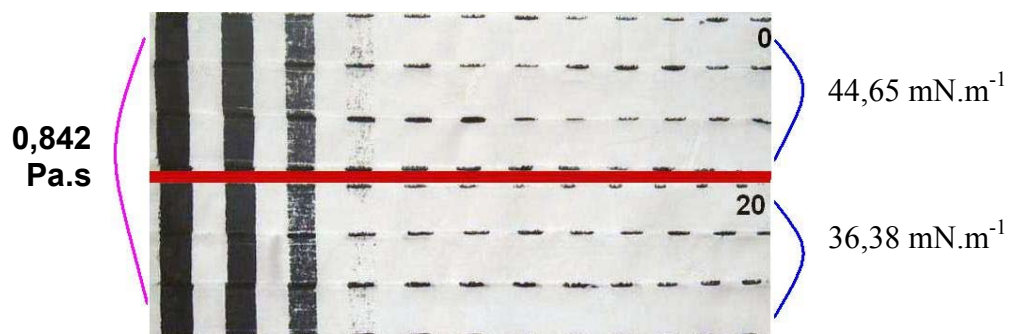
Obr. 78: Vzlínání obarvené lázně do návinu bavlněné textilie, která obsahovala 10 g.l^{-1} roztoku alginátu s přídavkem 0 a 20 g.l^{-1} Alfonalu KD.



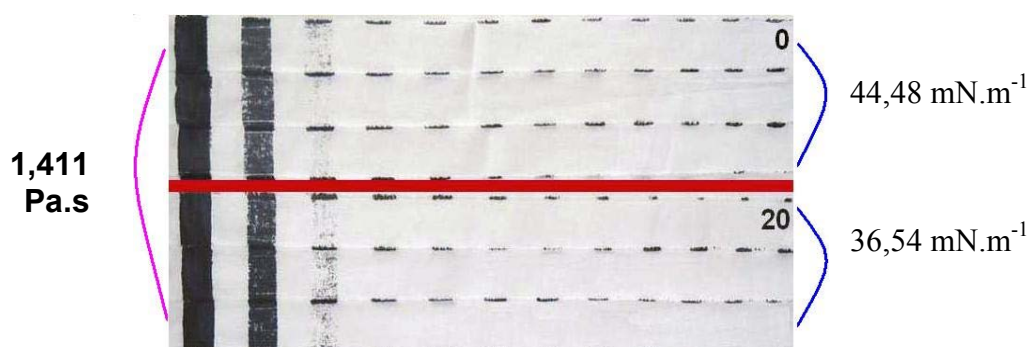
Obr. 79: Vzlínání obarvené lázně do návinu bavlněné textilie, která obsahovala 15 g.l^{-1} roztoku alginátu s přídavkem 0 a 20 g.l^{-1} Alfonalu KD.



Obr. 80: Vzlínání obarvené lázně do návinu bavlněné textilie, která obsahovala 20 g.l^{-1} roztoku alginátu s přídavkem 0 a 20 g.l^{-1} Alfonalu KD.

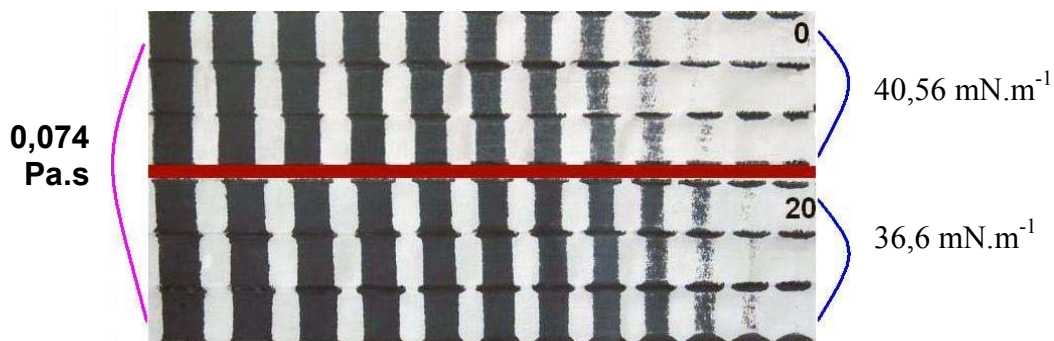


Obr. 81: Vztlínání obarvené lázně do návínu bavlněné textilie, která obsahovala 25 g.l^{-1} roztoku alginátu s přidavkem 0 a 20 g.l^{-1} Alfonalu KD.

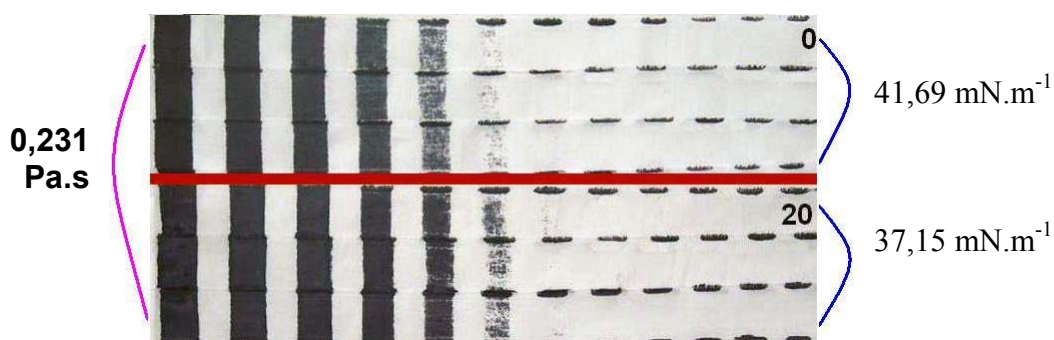


Obr. 82: Vztlínání obarvené lázně do návínu bavlněné textilie, která obsahovala 30 g.l^{-1} roztoku alginátu s přidavkem 0 a 20 g.l^{-1} Alfonalu KD.

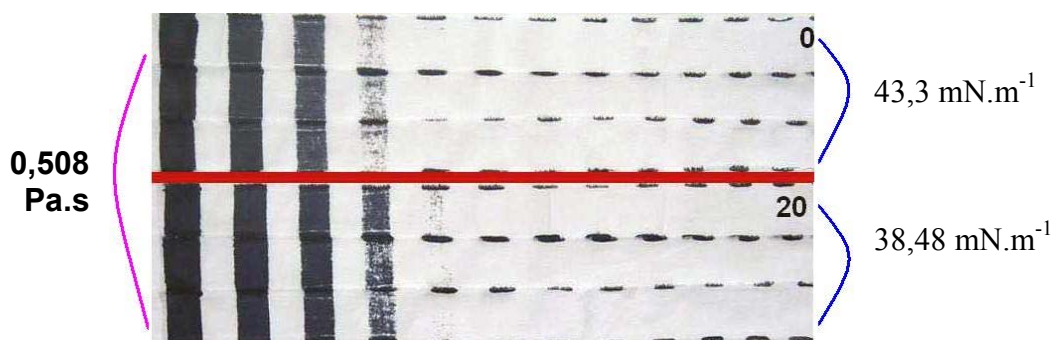
4.8.3 VZLÍNÁNÍ OBARVENÉHO ROZTOKU ALGINÁTU S PŘÍDAVKEM FLAVOLU LDA



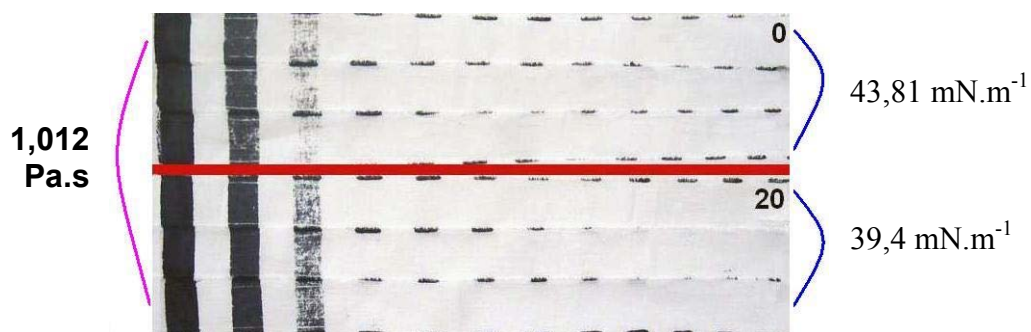
Obr. 83: Vzlinání obarvené lázně do návinu bavlněné textilie, která obsahovala 10 g.l^{-1} roztoku alginátu s přísávkem 0 a 20 g.l^{-1} Flavolu LDA.



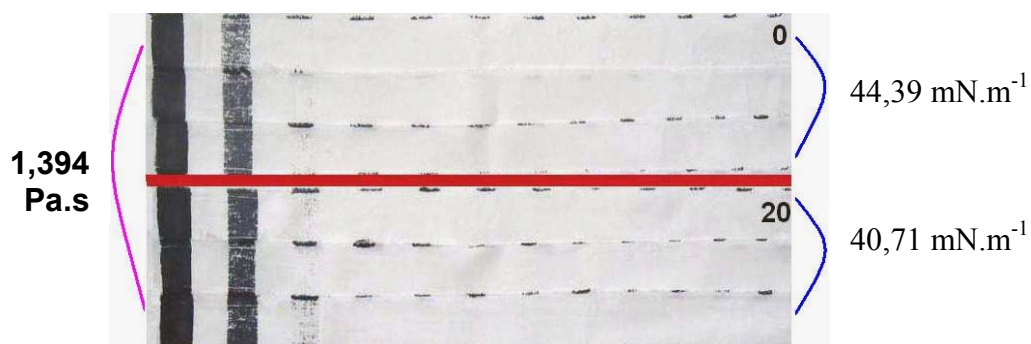
Obr. 84: Vzlinání obarvené lázně do návinu bavlněné textilie, která obsahovala 15 g.l^{-1} roztoku alginátu s přísávkem 0 a 20 g.l^{-1} Flavolu LDA.



Obr. 85: Vzlinání obarvené lázně do návinu bavlněné textilie, která obsahovala 20 g.l^{-1} roztoku alginátu s přísávkem 0 a 20 g.l^{-1} Flavolu LDA.



Obr. 86: Vztlínání obarvené lázně do návinnu bavlněné textilie, která obsahovala 25 g.l^{-1} roztoku alginátu s přidavkem 0 a 20 g.l^{-1} Flavolu LDA.



Obr. 87: Vztlínání obarvené lázně do návinnu bavlněné textilie, která obsahovala 30 g.l^{-1} roztoku alginátu s přidavkem 0 a 20 g.l^{-1} Flavolu LDA.

5 DISKUZE VÝSLEDKŮ

5.1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A VSKOZITA

Jak je zřejmé (z obr. 44-46), že pomocí všech tří povrchově aktivních látek došlo k cílenému snížení povrchového napětí roztoků zahušťovadel o různé koncentraci a viskozitě. Povrchové napětí se pohybuje v rozmezí přibližně 40 – 44mN.m⁻¹ bez přídavku povrchově aktivní látky. Přídavkem 2-5g.l⁻¹ povrchově aktivní látky (záleží na použitém tenzidu) povrchové napětí klesne na hodnoty přibližně 30-40mN.m⁻¹. Další zvýšení koncentrace tenzidu na 10g.l⁻¹ respektive 20g.l⁻¹ již nevede k dalšímu snížení povrchového napětí soustavy.

Abeson INA a Alfonal KD dokáže povrchové napětí snížit téměř o 10mN.m⁻¹, kdežto Flavol LDA povrchové napětí sníží pouze o 5mN.m⁻¹.

Z grafů je též patrné, že povrchové napětí postupně stoupá se zvyšující se koncentrací roztoku zahušťovadla a tím i zvyšující se viskozitou..

Na obr. 47-49 jsou znázorněny hodnoty viskozit sledovaných soustav v závislosti na koncentraci použitých tenzidů. Lze tvrdit, že viskozita se s použitím povrchově aktivní látky nemění a zůstává téměř konstantní v oblastech nízkých koncentrací roztoků zahušťovadla (10, 15, 20, 25 g.l⁻¹). Při koncentraci 30 g.l⁻¹ roztoku zahušťovadla již dochází k mírnému kolísání viskozity.

V následujících grafech (obr. 50-52), je znázorněn vztah viskozity a povrchového napětí roztoků zahušťovadla. Pomocí tenzidů bylo dosaženo různého povrchového napětí, aniž by došlo ke změně viskozity (respektive změna viskozity je zanedbatelná).

5.2 VYHODNOCENÍ PRŮNIKU (PROVZLÍNÁNÍ) OBARVENÉHO ROZTOKU ALGINÁTU DO STRUKTURY TEXTILIE

Křivky intenzit šedi koncentračních řad roztoků alginátů s přídavky tenzidů v závislosti na polích (vrstvách) návinu jsou znázorněny na obr. 53-55 .

Jednotlivé křivky koncentračních řad roztoků zahušťovadla jsou vyznačeny jednou barvou o různých odstínech v závislosti na přidané koncentraci tenzidu.

V následujících grafech (obr. 56-61) je znázorněno celkové množství barviva v návinu textilie či počet obarvených vrstev textilie v závislosti na koncentraci přidávaného tenzidu. Je patrné že, čím vyšší koncentrace tenzidu (tedy snížení povrchového napětí), tím více je obarvených vrstev textilie či tím více je celkového množství barviva v návinu textilie. Je také zřejmé, že se zvyšující se koncentrací roztoku alginátu (tudíž i se zvyšující se viskozitou) je křivka již téměř konstantní a průnik roztoku alginátu do textilie nebo počet obarvených vrstev textilie se již téměř nemění. Dokázali jsme tedy, že ve vyšších koncentracích roztoku zahušťovadla (vyšší viskozita), již povrchové napětí jakožto intenzifikátor vztlínání neusnadňuje průnik roztoku alginátu do struktury textilie.

Na obr. 62-64 jsou uvedeny v závislost počet obarvených vrstev textilie a celkové množství barviva v návinu textilie. Sledovali jsme, zda mezi těmito veličinami existuje závislost a zda jsou vzájemně přepočitatelné, o čemž jsme v počátku polemizovali. Výsledná regresní křivka ukazuje, že obě hodnoty jsou lineárně závislé a ve všech případech je konstanta úměrnosti konstantní a je stejná pro všechny tři případy.

5.3 ZÁVĚREČNÉ VYHODNOCENÍ 3D GRAFŮ

Pomocí 3D diagramů (obr. 66-71) jsme docílili vyjádření závislosti viskozity, povrchového napětí na počtu obarvených vrstev textilie či celkového množství barviva v návinu textilie. Při nízké viskozitě (roztoky zahušťovadla o nižších koncentracích) je počet obarvených polí textilie vyšší (v grafu je to oblast definovaná zelenou a růžovou barvou), než je tomu u vyšších hodnot viskozit (v grafu je to oblast definovaná světle a tmavě modrou barvou), kde počet obarvených vrstev je nízký.

Obdobné výsledky jsme docílili i u hodnot celkového množství barviva v návinu textilie (tyto jednotky jsou přímo úměrné skutečné koncentraci barviva v textili, ale protože nebyla provedena kalibrace, nelze tento přepočet provést). V oblasti nízké viskozity jsme docílili vysokého průniku obarveného roztoku alginátu

do struktury textilie (v grafu je to oblast definovaná růžovou a oranžovou barvou). Kdežto v oblasti vyšší viskozity (v grafu je to oblast definovaná světle a tmavě modrou barvou) je transport obarveného roztoku alginátu do textilie nízký.

Obrázky č. 73-87 názorně ukazují počet obarvených vrstev (polí) textilie, tedy dosažený průnik roztoku zahušťovadla do struktury návinu. Při nižších koncentracích roztoků zahušťovadla 10, 15, 20 g.l⁻¹ je vidět, že použití tenzidu umožňuje snazší průnik roztoku alginátu do struktury textilie. Při koncentracích 25 a 30 g.l⁻¹ roztoku zahušťovadla je již patrné, že vysoká viskozita eliminuje vliv povrchového napětí a brzdí transport obarveného roztoku alginátu do textilie - počet obarvených vrstev textilie se nemění.

Shrnutí

Stěžejní výsledky této diplomové práce jsou uvedeny v 3D diagramech (obr. 66-71) a dále na obrázcích (obr. 73-87).

Z uvedených obrázků vyplývá obecný závěr, že vzlínání alginátových roztoků různé viskozity a povrchového napětí je od určitých hodnot viskozity limitováno touto viskozitou a povrchové napětí již neusnadňuje vzlínání obarvených roztoků alginátů do textilie. Tento transport je tedy výrazně ovlivněn vyšší viskozitou soustavy, která brzdí vzlínání roztoku do struktury příze a do struktury mezivláknenných a mezipřízových struktur v textili.

Hnací silou vzlínání je obecně povrchová energie textilních vláken, která je u použité bavlněné textilie (bělené, prané – tedy značně savé) vysoká. Tento materiál představuje pro běžnou vodnou lázeň o minimální viskozitě 0,0034 Pa.s⁻¹ velmi savý materiál.

Zvyšování viskozity soustavy musí tedy eliminovat vysokou povrchovou energii předupravené bavlny. Tato mez, nad kterou je vliv povrchového napětí potlačován, je základním výsledkem této diplomové práce, což lze kvantitativně odečíst z 3D diagramů (obr. 66-71) a obrázků (obr. 73-87).

Mám-li experimentální závěry zobecnit, pak mohu obecně vyčlenit hodnoty viskozity ($\eta = 1 \text{ Pa.s}$ a vyšší), kdy snížené povrchové napětí již nebude mít na vztlínání žádný vliv – tedy průnik roztoku alginátu se již nemění.

Eventuelní využití těchto výsledků pro technologickou praxi je uvedeno v závěru.

6 ZÁVĚR

Základem této diplomové práce, tak jak je uvedeno v zadání, bylo zjistit do jaké míry viskozita studované soustavy potlačuje vliv povrchového napětí kapaliny na její vztlínání do struktury textilie.

Je známo, že vodné roztoky tenzidů smáčí textilií tím intenzivněji a rychleji, čím nižší je za srovnatelných podmínek hodnota jejich povrchového napětí. Například sací výška dosažená na polypropylenové tkanině v destilované vodě (povrchové napětí $\gamma = 72,8 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$) je v čase 1 minuty 0 mm. Snížíme-li povrchové napětí vody použitím povrchově aktivní látky (Abeson INA) na hodnotu poloviční ($\gamma = 38,6 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$), bude vztlínat kapalina za srovnatelných podmínek do výšky 38 mm.

Experimentálně byl sledován roztok alginátu (zahušťovadla), do kterého byl přidáván tenzid různé koncentrace. Jestliže budeme měnit u popsané soustavy viskozitu, pak při jejich určitých hodnotách (přibližně $\eta = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ a vyšší) bude potlačen vliv povrchového napětí – kapalina nebude vztlínat do textilie. Působení tenzidu jako intenzifikátoru vztlínání se tedy vyšší viskozitou soustavy eliminuje (ruší).

Jestliže máme v textilních procesech aplikovat technologie, které jsou založeny na rychlém a intenzivním provztlínání zušlechťovací lázně do struktury příze (plošná textilie, rouna, křížem soukaná cívka, vložka), pak bude mít rozhodující vliv při nízké viskozitě soustavy, povrchové napětí.

Při jiných technologických aplikacích, např. při textilním tisku musíme volit takové složení tiskacích past, aby vztlínání bylo minimální respektive nulové. Tím dosahujeme ostroty tištěných vzorů. Obdobné požadavky jako na tiskací pasty se kladou i na šlichtovací přípravky a pasty pro textilní zátěry.

Všechny tyto popsané varianty jsou na základě experimentálních výsledků kvantitativně uvedeny v 3D diagramech (obr. 66-71). Takové diagramy lze detailně vypracovat pro kombinace barviv, zahušťovadel, tenzidů a ostatních složek, které se používají pro konkrétní reálné technologie v praxi.

Na základě dosavadních zjištění mohu navrhnout k dalším experimentům tyto možné aplikace.

Praktické využití při textilním tisku by mohlo být založeno na různé rychlosti a intenzitě rozvzlínání barviva v záhustkách v ploše textilie. Tím by se do tištěného vzoru mohly vnášet vzory s ostrou konturou a nebo s rozvzlinanou (rozpitou) strukturou.

Tyto poznatky lze též využít při klasickém tisku, ať už pomocí rotační nebo ploché šablony, kdy v 3D diagramech (obr. 66-71) jsou uvedeny oblasti viskozit, kde již povrchové napětí nemá vliv na vzlínání soustavy do struktury textilie a transport sledované soustavy se již nemění. Toho by šlo využít při zadávání minimálních požadavků na textilní pasty.

Dále při technologii Thermosol může tato studie sloužit k posuzování funkce antimigračních záhustek tj. může umožnit vybrat takovou viskozitu a povrchové napětí a optimalizovat lázeň tak, aby při zvolené viskozitě a povrchovém napětí nedocházelo k migraci barviva v ploše textilie.

Navrhuji, aby pro obecnější platnost a ověření získaných výsledků byly v dalším výzkumu provedeny experimenty s jinými druhy zahušťovadel a tenzidů. Případně, aby se testovalo vzlínání těchto soustav na směsových textiliích, případně na textiliích ze syntetických vláken.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] Vlastnosti vláken: Vzlínání, Přednáška 8, dostupné na [www](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska8.pdf):
<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska8.pdf>
- [2] Kholová, I.: Diplomová práce - Vzlínání kapaliny do vlákenného útvaru, Technická univerzita v Liberci, 2003
- [3] PirkI, S.: Reologie a reometrie kapalin, dostupné na [www](http://kf.upce.cz/st_literatura.html):
http://kf.upce.cz/st_literatura.html
- [4] Wein, O.: Úvod do reologie, Vysoké učení technické v Brně, Brno 1996
- [5] Prášil, M., Kvapil, M., Hofman, J.: Stroje a mechanická technologie zušlechťování, Skripta VŠST, Liberec 1985
- [6] Fischer, O. a kol.: Fyzikální chemie, Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1984
- [7] Brdička, R., Dvořák, J.: Základy fyzikální chemie, Academia, Praha 1977
- [8] Návod k obsluze viskozimetru Viscotester VT 550
- [9] Tockstein, A.: Základy fyzikální chemie, VŠ Chemicko-technologická v Pardubicích, Pardubice 1980
- [10] Nenewtonské kapaliny, Wikipedia, dostupné na [www](http://cs.wikipedia.org/wiki/Speci%C3%A1ln%C3%AD:Search?search=reologie&go=J%C3%ADt+na):
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Speci%C3%A1ln%C3%AD:Search?search=reologie&go=J%C3%ADt+na>
- [11] Bella, J., Pivec, V., Štěpánek, O.: Potiskování textilií ze syntetických vláken, SNTL/ALFA, Praha 1981
- [12] Feng, S., Graham, L. A., Reardon, T. P., Abbott, J., Mondy, L.: Improving Fallings Balls Tests for Viscosity Determination, Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME, Vol. 128, January 2006
- [13] Pouchlý, J.: Koloidní chemie, VŠ Chemicko – technologická Praha, SNTL, 1973
- [14] <http://uprt.vscht.cz/kminek/mrt/F4/F4k46-sloz.htm#k4612>
- [15] Blažej, A.: Tenzidy, Alfa, Bratislava 1977
- [16] Horák, Z., Krupka, F.: Fyzika, Příručka pro školy technického směru, SNTL/ALFA, Praha 1976

- [17] Lepil, O., Bendnařík, M., Hýblová, J.: Fyzika pro střední školy, Prometheus, Praha 1994
- [18] Surface tension: SITA Messtechnik Gmbh, dostupné na [www](http://www.online-tensiometer.com/oberfl/index.html):
<http://www.online-tensiometer.com/oberfl/index.html> -surface tension 1
- [19] Lank, V., Vondra, M.: Fyzika v kostce, Fragment, Havlíčkův Brod 2002
- [20] Ščukin, E.D., Percov, A.V., Amelinová, E.A.: Koloidní chemie, Academia, Praha 1990
- [21] Měření povrchového napětí, dostupné na [www](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_povrchoveho_a_mezifazoveho_napeti.html):
http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_povrchoveho_a_mezifazoveho_napeti.html
- [22] Rottenberg Y., Boruvka L., Neumann A.W.: J. Colloid Interface Sci. **93**, 169 (1983).
- [23] Cheng P., Li D., Boruvka L., Rottenberg Y., Neumann A.W.: Colloids Surfaces **43**, 151 (1990)
- [24] Seminar, Methods to Determine Surface and Interfacial Tension of Liquids and Solids: KRÜSS, TU of Wroclaw, 1997
- [25] Burkowsky M., Marx C.: Tenside Detergents **15**, 5 (1978).
- [26] Shinoda K., Shibata Y.: Colloids Surf. **19**, 185 (1986).
- [27] Prášil, M. a kol.: Textilní chemie, Skripta VŠST, Liberec 1994
- [28] Adamson A.W.: Physical Chemistry of Surfaces. 5th Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York 1990. str. 40, 176
- [29] Meier, W., Greune, G., Meyboom, A., Hofmann, K.P.: Surface tension and viscosity of surfactant from the resonance of an oscillation drop, Eur Biophys J, Volume **29**, 2000
- [30] Matsumoto, T. and col.: Precise measurement of liquid viscosity and surface tension with an improved oscillating drop method, Physical Review E, Volume **65**, 2002
- [31] Dembický, J.: Hodnocení smáčivosti vláken, Disertační práce, Technická univerzita v Liberci, 2004
- [32] Shaw, D.J.: Introduction to colloid and surface chemistry, Butterworth, 1980
- [33] Wiener, J.: Vzlínání kapaliny do textilií, Habilitační práce, Technická univerzita v Liberci, 2006

- [34] Kolektiv autorů: Příručka pro textilní barvíře a tiskaře, Sdružení pro odbyt dehtových barviv, Rapid, Praha 1976
- [35] Alginate Structure: Cyber Colloids, dostupné na [www:](http://cybercolloids.net/library/alginate/structure.htm)
<http://cybercolloids.net/library/alginate/structure.htm>
- [36] Kryštůfek, J., Machaňová, D., Odvárka, J., Prášil, M.: Technologie zušlechťování, Skripta Technická univerzity v Liberci 2002
- [37] Štěpánová, L.: Vztah mezi viskozitou a povrchovým napětím kapalin, Bakalářská práce, Technická univerzita v Liberci, 2004
- [38] Informační list Abesonu INA, Enaspol a.s., dostupné na [www:](http://www.enaspol.cz)
<http://www.enaspol.cz>
- [39] Informační list Alfonalu KD, Enaspol a.s., dostupné na [www:](http://www.enaspol.cz)
<http://www.enaspol.cz>
- [40] Informační list Flavolu LDA, Enaspol a.s., dostupné na [www:](http://www.enaspol.cz)
<http://www.enaspol.cz>
- [41] Věšínová, I.: Možnosti řízení reologického chování tiskacích past, Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci 1997
- [42] Contact Angle and Adsorption Measuring System: KRÜSS, K 121, Users Manual, KRÜSS GmbH, Hamburg 1999
- [43] Lucia G analýza obrazu: Laboratory Imagin s.r.o, dostupné z: www.lim.cz
- [44] Maršálková, M.: Návod na cvičení ze ZVT, 2003, dostupné na [www:](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm)
<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm>
- [45] Obrazová analýza Lucia: dostupné na [www:](http://biologie.upol.cz/mikroskopie)
<http://biologie.upol.cz/mikroskopie>